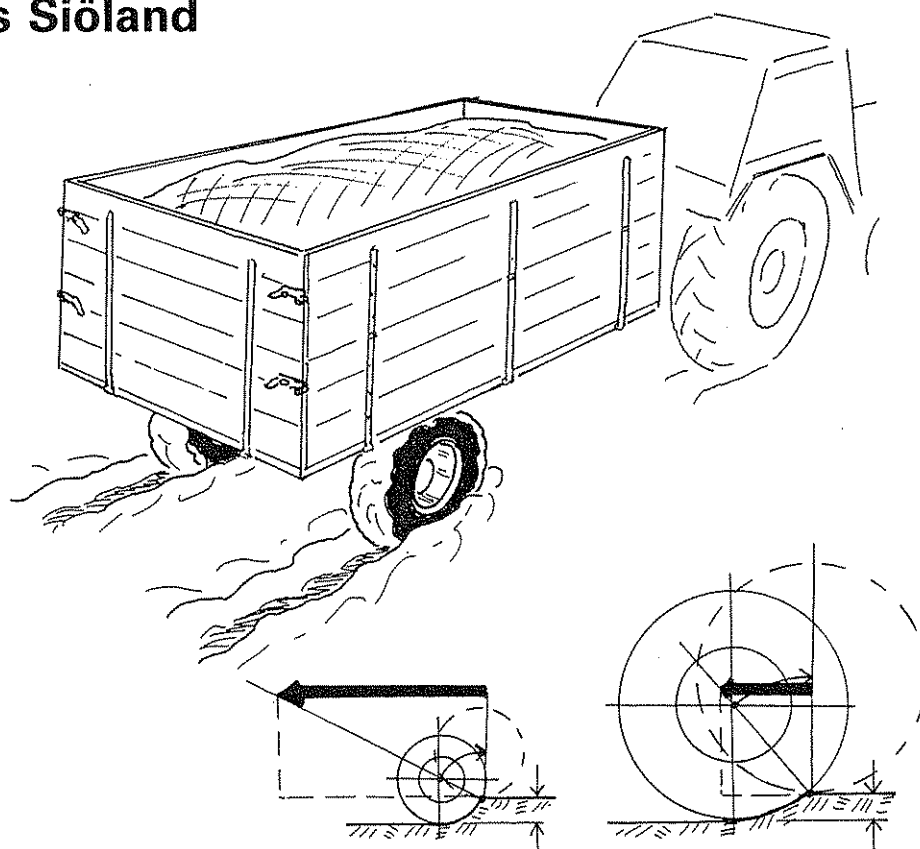


**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

Rullmotstånd hos dragna hjul med lågprofildäck

**Rolling resistance of towed wheels with
low-profile tyres**

Tomas Siöland



**Institutionen för
lantbruksteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural
Engineering**

**Rapport 105
Report**

Uppsala 1986

ISSN 0283-0086

ISBN 91-576-2620-0

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

	Sid
1. Förord.	4
2. Inledning.	5
3. Litteraturöversikt	6
4. Beskrivning av försöksutrustningen.	16
5. Beskrivning av däcken.	23
6. Försökens genomförande.	27
7. Resultat.	29
8. Felkällor.	38
9. Diskussion.	39
10. Sammanfattning.	42
11. Summary.	43
12. Litteraturförteckning.	44
Bilaga 1. Normer för de testade däcken.	

1. FÖRORD.

Denna undersökning har utförts som examensarbete enligt fordringarna för agronomexamen vid institutionen för Arbetsmetodik och Teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet. Syftet har varit att undersöka hur rullmotståndet hos lågprofildäck påverkas av lufttryck i däcket, lagerklass, konstruktion, mönster, diameter och bredd hos däcket vid körning på olika underlag. Undersökningsmaterialet är relativt begränsat i förhållande till det antal olika situationer som kan uppkomma, men jag hoppas att det kan vara till vägledning vid framtida val av däck till maskiner och redskap. Trelleborg AB har välvilligt ställt upp med däck, samt stöttat undersökningen ekonomiskt.

Jag vill rikta ett stort tack till professor Nils Möller som har varit min handledare, och bistått med värdefulla synpunkter under undersökningen och vid sammanställningen av materialet.

Likaså vill jag tacka:

JTI som lånat ut vissa maskiner för undersökningens genomförande.

Ultuna Egendom som ställt försöksmark till förfogande.

Kent Petterson som utvecklat erforderliga datorprogram för undersökningen.

Verkstadspersonalen på AT som hjälpt mig att bygga en del av försöksutrustningen.

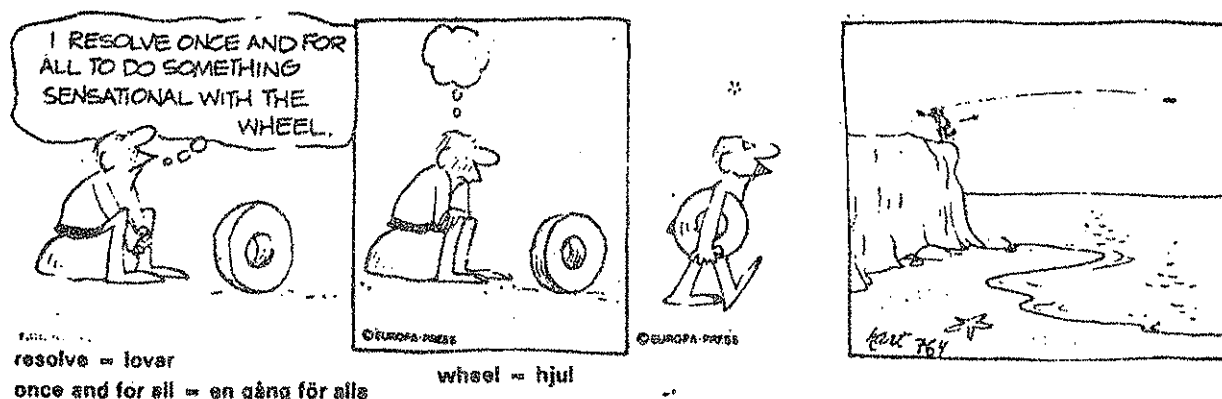
Övrig personal som på något sätt medverkat i undersökningen.

Uppsala 20 November 1984

Tomas Siöland

B C

av Johnny Hart



2. INLEDNING.

2.1. Motiv för undersökningen.

Redan de gamla romarna visste att ett stort hjul rullar lättare än ett litet. Idag har vi betydligt större kunskaper om rullande hjul, men saknar detaljkunskaper i många fall. Genom att mäta rullmotståndet på några av våra vanligaste lågprofildäck i olika, ofta förekommande driftssituationer kan vi få ett bättre underlag vad det gäller dimensioneringen av hjulutrustning till våra traktorer, vagnar och övriga maskiner.

En underdimensionerad hjulutrustning medför ett flertal negativa konsekvenser, speciellt vid körning i fält. Bland annat kan nämnas:

- högt rullmotstånd
- djupa spår
- hög energiförbrukning
- stor fastkörningsrisk
- hög tidsåtgång
- packningsskador i matjord och alv

Många traktorer, vagnar och övriga maskiner är utrustade med däck som inte ger optimala prestanda eller som ger onödiga markskador. Följande maskiner skulle ofta vara i behov av bättre däckutrustning:

- vagnar
- tröskor
- lastmaskiner
- traktorframhjul
- flytgödselspridare
- sprutor
- bet- och potatisupptagare

De däck som har testats i denna undersökning är ofta lämpliga att montera som ersättning för originalutrustningen i ovanstående fall.

2.2. Huvudmoment i undersökningen.

14 par däck i dimensioner från 400/60-15.5 upp till 600/50-22.5 fanns tillgängliga. Dessa däck testades både vid körning på asfalterad väg och vid körning i fält.

På asfalt bestämdes rullradien samt rullmotståndskoefficienten vid körning i 30 km/h. I fält mättes spår djup, slirning och rullmotståndskoefficient vid 5 km/h. Däcken kördes dels spårande med traktorn, dels med hjulen gående helt utanför traktorspårerna på ostörd mark. Vissa av däcken kördes med olika lufttryck, detta för att utnyttja däckens belastningsförmåga helt (korresponderande lufttryck till belastningen enligt STRO-normerna).

De underlag som däcken testades på i fält valdes så att däcken skulle få gå under så varierande testbetingelser som möjligt. Dessa underlag var:

- torr harvad åker
- blöt stubbåker
- blöt plöjd åker

3. LITTERATURÖVERSIKT.

3.1. Allmänt.

Rullmotståndet hos ett hjul kan uttryckas som

$$R = f(D, M, v, N) \quad (1)$$

Där:

- R = rullmotstånd
- f = funktion av
- D = däckets egenskaper
- M = markens egenskaper
- N = normalkraften på hjulet
- v = hastigheten

Däckets egenskaper kan i sin tur uttryckas som

$$D = f(b, d, PR, p, l, m, k) \quad (2)$$

Där:

- b = bredd
- d = diameter
- PR = lagerklass
- p = profilförhållande
- l = lufttryck
- m = mönster
- k = konstruktion

Markens egenskaper uttryckes som

$$M = f(vh, pg, j) \quad (3)$$

Där:

- vh = vattenhalt
- pg = packningsgrad
- j = jordart

Slutligen får vi om (2) och (3) insättes i (1) att rullmotståndet kan uttryckas som

$$R = f(b, d, PR, p, l, m, k, vh, pg, j, v, N)$$

Ovanstående anger att rullmotståndet vid körning med ett hjul på mjukt underlag är en funktion av inte mindre än 12 variabler. Detta kan enklare uttryckas som att rullmotståndet är en funktion av däckets deformationsenergi, energin för att flytta jord i sidled framför däckets (bulldozing) samt energin som åtgår för att packa jorden. Diagram 1 visar hur motståndets delar beror av markens hållfasthet.

R_t = rullmotstånd p.g.a. deformation i däck.

R_b = bulldozingmotstånd.

R_c = packningsmotstånd.

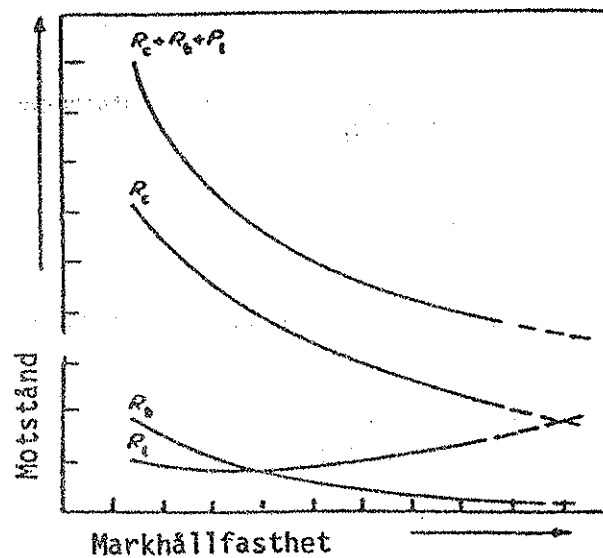


Diagram 1. Rullmotståndets olika komponenters beroende av markhållfastheten. (Bekker, Semonin, 1975)

3.2. Rullmotståndskoefficienten.

Vanligen används rullmotståndskoefficienten som mått på rullmotståndet. Denna koefficient betecknas vanligen p , men i engelskspråkig litteratur används beteckningen CRR (coefficient of rolling resistance)

Rullmotståndskoefficienten beräknas enligt följande formel:

$$(4) \quad p = \text{CRR} = \frac{T}{N}$$

där

p = rullmotståndskoefficienten

T = dragmotståndet

N = normalkraften på hjulet

Nedan i tabell 1 redovisas exempel på tidigare uppmätta rullmotståndskoefficienter på olika underlag.

Tabell 1. Approximativa rullmotståndskoefficienter på olika underlag.

Underlag	Rullmotståndskoefficient	
	Persson, 1957 Gummihjul	MSA handledning nr 6 Traktorfordon
Asfalt, betongväg	0.015	0.01-0.02
Grusväg, hård torr	0.035	0.02-0.05
Grusväg, lös		0.05-0.10
Gräsvall		0.06-0.10
Isväg		0.01-0.02
Lera, lös våt	0.35	
Sand, lös	0.30	
Skogsmark, fullt bärig, något stenig.		0.08-0.10
Åker, fast	0.06	
Åker, lös	0.12	

En modellekvation för beräkning av rullmotståndskoefficienten för diagonaldäck har framtagits av Turnage (1972) där

$$\rho = 0.323/EMOB + 0.054 \quad (5)$$

ρ = rullmotståndskoefficienten

EMOB är det så kallade mobility number som uträknas enligt följande:

$$EMOB = \frac{C b d}{W} \frac{\delta}{h} \left(\frac{1}{1 + (b/2d)} \right) \quad (6)$$

Där

C = konpenetrometerindex

b = däckets bredd

d = däckets diameter

W = normalkraft

δ = deflektionen av däck

h = sektionshöjd

3.3. Olika faktorerers inverkan på rullmotståndets olika delar.

3.3.1 Hjulets diameter.

En stor hjuldiameter är fördelaktig när man vill uppnå ett lågt rullmotstånd. Dels innebär den större diametern att hjulet får ett lägre mothållande moment, dels ger det större hjulet ett lägre marktryck (eftersom kontaktytan har en större krökningsradie), vilket ger en mindre sammantryckning av marken och därmed ett lägre rullmotstånd.

I diagram 2 och 3 visas sambandet mellan rullmotstånd och hjuldiameter under olika förhållanden.

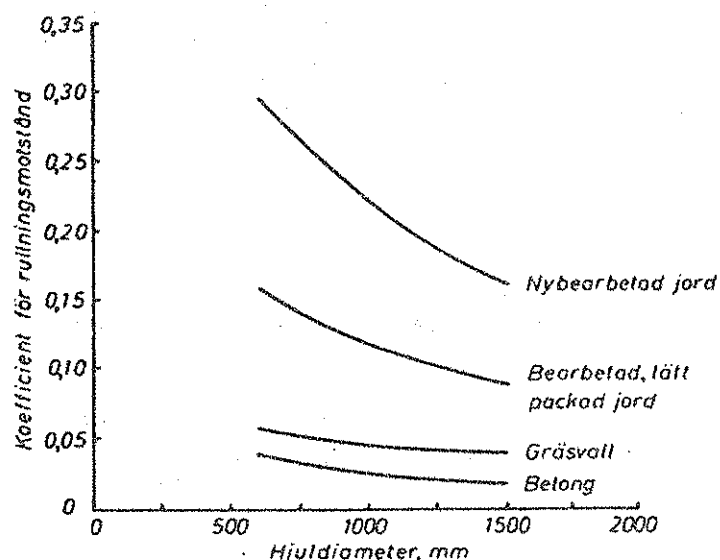


Diagram 2. Hjuldiameterens inverkan på rullmotståndet. (Danfors, 1980)

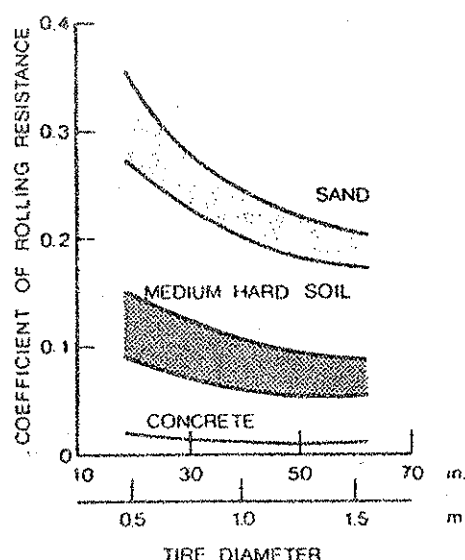
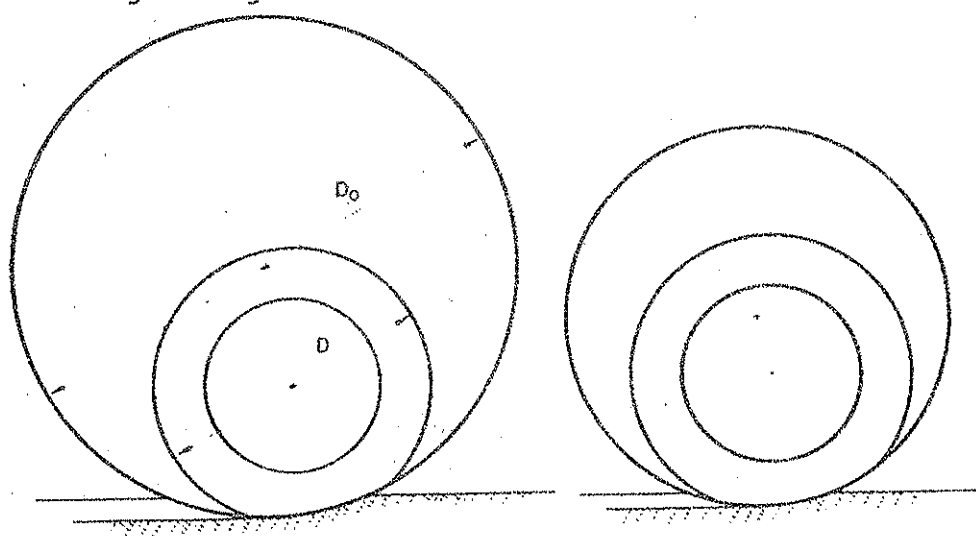


Diagram 3. Hjuldiameterens inverkan på rullmotståndet. (Taborek, 1957)

Ett gummi-hjul har ett lägre rullmotstånd än ett järnhjul. Detta är en följd av att sammantryckningen mot markytan ger gummi-hjulet en skenbart större diameter och jämnare tryckfördelning mot underlaget (p.g.a. den större krökningsradie i kontaktytan mot marken), att den uppnådda kontaktytan blir större, samt att tryckfördelningen blir jämnare. Detta framgår av figur 1.



Figur 1. Diametern ökar skenbart vid hjulets sammantryckning. (Söhne, 1969)

Från ekvation 6 inses lätt att en ökning av diametern ökar mobility number varvid rullmotståndet minskar. Den begränsning av diametern som råder idag beror på utrymmes-, men kanske framför allt kostnadsskäl.

I många fall får helt enkelt inte högre hjul plats i maskinerna, och dessutom har en alltför stor hjuldiameter en negativ inverkan på tyngdpunktens läge i maskinen.

3.3.2. Hjulets bredd.

Enligt ekvation 6 ger en ökning av hjulbredden inte lika stor minskning av rullmotståndet som en ökning av hjulets diameter. På grund av de tidigare nämnda svårigheterna med att öka diametern är dock detta det sätt som ligger närmast till hands när vi vill minska rullmotståndet. En ökad bredd på hjulet ger en ökad volym, vilken i sin tur tillåter en sänkning av lufttrycket, vars inverkan diskuteras längre fram i detta avsnitt.

Betydelsen av en ökning av bredden för rullmotståndets storlek är beroende av hjuldiametern och markförhållandena. Ju mjukare marken är, desto större är risken för ett stort bulldozingmotstånd, d.v.s. att hjulet skjuter jord framför sig, och i detta fall är risken beroende av hjuldiametern. Detta innebär att en ökning av hjulbredden vid stor diameter i allmänhet ger ett sänkt rullmotstånd, men en ökning av bredden vid en liten hjuldiameter kan ge upphov till en ökning av rullmotståndet till följd av ett ökande bulldozingmotstånd (Gee-Clough, 1978).

Vid körning på fast underlag ger en ökning av bredden en ökning av bärytan, och därmed minskar rullmotståndet.

Naturligtvis uppstår problem även vid montering av extremt breda däck ungefär av samma art som de vid monteringen av däck med stor diameter. Ett exempel på detta är körning på allmän väg.

Angående bulldozingmotståndet kan tyvärr bara konstateras att ingen lyckats uppställa de parametrar som fastställer den kritiska gräns där bulldozing börjar uppträda i den utsträckning att den börjar få en betydande inverkan på rullmotståndet. (McAllister, 1983)

3.3.3. Lufttrycket i däcken.

I en större engelsk undersökning (Dwyer, 1984) konstateras att den viktigaste faktorn när rullmotståndet ska reduceras är att försäkra sig om att däckstorleken är tillräcklig för att bära den önskade lasten vid så lågt lufttryck som möjligt. Ur denna undersöknings synpunkt ideala däck skall vara så stora att de kan bära lasten vid följande lufttryck:

- 1.5 bar vid körning på fast mark
- 1.0 bar vid medelgoda förhållanden
- 0.5 bar på mjuk mark

Dessa rekommendationer, som även bidrager till att minimera jordpackningen kan emellertid knappast följas i praktiken med den däcksutrustning som finns idag.

För att undvika onödigt slitage och skador på däcken måste däckstillverkarnas rekommendationer följas avseende lufttrycket i däcken för en viss given belastning. Dessa framgår av STRO-normerna (Scandinavian Tyre and Rim Organisation), eller av normer direkt från tillverkaren. Utdrag ur Trelleborg AB:s normer medföljer som bilaga i denna rapport.

Resultatet av ett sänkt lufttryck är att vid körning på mjuk mark sker deformationen till större del i däckets och till detta åtgår mindre energi än att deformera marken. Vid körning på hårt underlag sker ingen deformation i underlaget, och därför bör deformationen i däckets minimeras för att erhålla lågt rullmotstånd vilket innebär att lufttrycket i däckets skall höjas. Observera att STRO-normerna även anger ett maximalt tillåtet lufttryck i däcken som inte får överskridas.

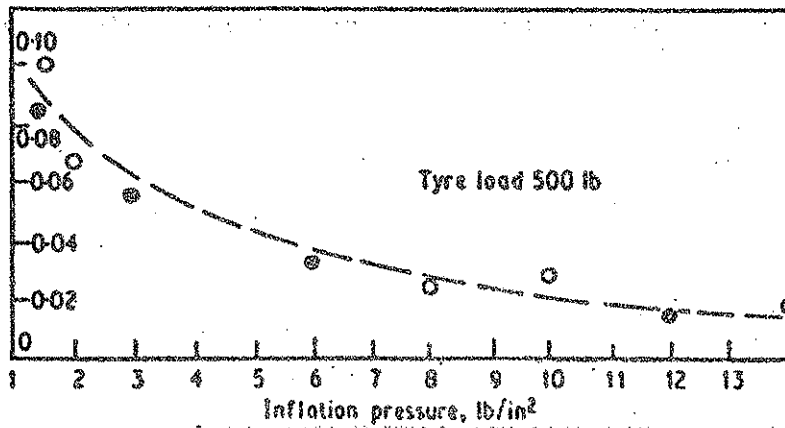


Diagram 4. Lufttryckets inverkan på rullmotståndet på hårt underlag. (Bekker, Semonia, 1975)

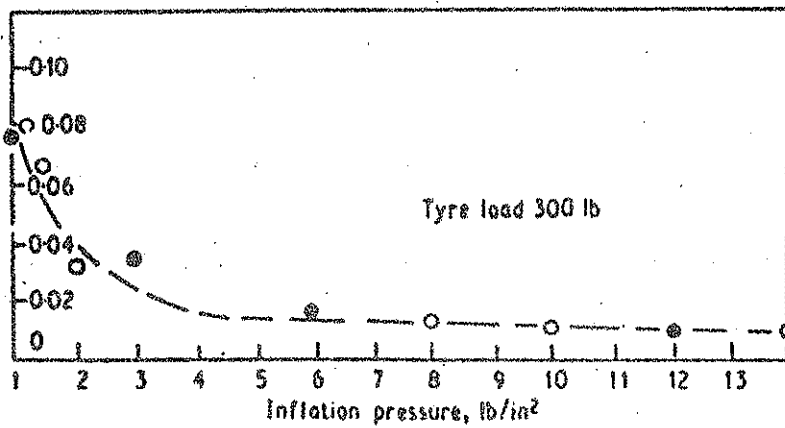


Diagram 5. Lufttryckets inverkan på rullmotståndet på hårt underlag. (Bekker, Semonia, 1975)

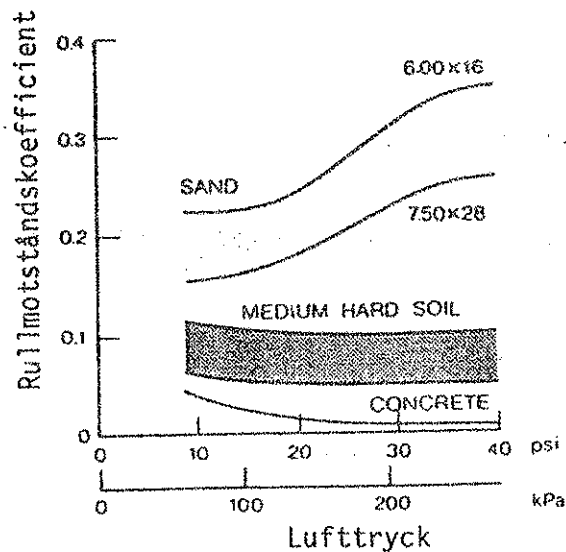


Diagram 6. Lufttryckets inverkan på rullmotståndet på olika underlag. (Taborek, 1957)

Liksom tidigare nämnts att användandet av gummihjul ger en skenbart större hjul diameter, ger även en sänkning av lufttrycket en skenbart större diameter eftersom kontaktytan ökar och krökningsradien på denna yta likaså. Därför ger en ökning av bredden tillåtande en sänkning av lufttrycket en skenbar ökning av diametern.

Hur lufttrycket inverkar på rullmotståndet vid körning på olika underlag kan studeras i diagram 4,5,6 och 7.

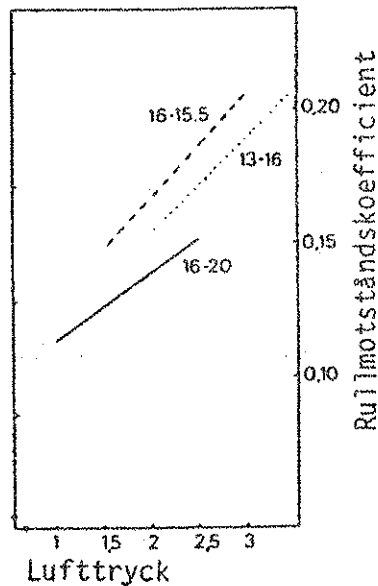
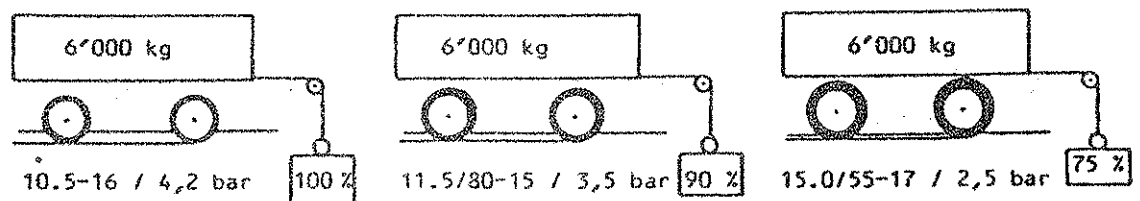


Diagram 7. Lufttryckets inverkan på rullmotståndet vid körning på stubbåker. (Perdok, 1983)

Nedanstående figur illustrerar hur dragkraftsbehovet minskar i fält då däck som tillåter lägre lufttryck har monterats. I detta fall har bredden på däcken ökats, och på så sätt möjliggjort en sänkning av lufttrycket.



Figur 2. Genom att öka däckvolymen kan lufttrycket sänkas, vilket ger lägre rullmotstånd. (Kramer, 1983)

I England har undersökningar gjorts som visar en sänkning av rullmotståndskoefficienten vid en sänkning av lufttrycket vid korresponderande last (Mc.Allister, 1983). Dessa resultat visas i tabell 2.

Tabell 2. Lufttryckets inverkan på rullmotståndet. (Mc.Allister, 1983)

Effect of load (at recommended inflation pressure) on the CRR of tyres tested

	Tyre size				
	13.5-17.5			12.5-15	
Load, kN	10	20	30	10	20
Pressure, kPa	101	303	485	142	284
Mean CRR	0.090	0.116	0.150	0.086	0.107

3.3.4. Däckets lagerklass.

Ett däck med mycket hög lagerklass (t. ex. de beg. flygplansdäck som används i lantbruket med lagerklass 20-24) skulle kunna liknas vid ett järnhjul då det är utsatt för låga laster i förhållande till avsedd maxlast. På grund av de mycket styva däckssidorna kommer däckets att deformeras relativt litet vid körning med lågt lufttryck. Detta ger en liten bäryta och ett högt rullmotstånd blir resultatet vid körning på mjuka underlag. Ett sådant däck ändrar sina egenskaper mindre vid en sänkning av lufttrycket än ett mjukare däck skulle göra. Detta innebär att vid körning på hårt underlag erhålles ett lågt rullmotstånd, men på mjukt underlag kommer ett sådant däck att ha ett högt rullmotstånd.

I jordbruket byggs ofta gamla lastbilar om till vagnar. Detta är ekonomiskt fördelaktigt vid byggandet, och det är lätt att få tag i begagnade lastbilsdäck billigt som ersättning vid haverier. Dessa vagnar är försedda med däck av hög lagerklass, som vid körning på väg ger ett lågt slitage och lågt rullmotstånd. Dock kommer dessa vagnar vid körning i fält att ge höga marktryck med åtföljande packningsskador, och är därför lämpliga endast för vägtransporter. Dessutom är rullmotståndet högt vid körning med denna typ av vagnar i fält. Därför bör ekipage med boggie och dubbelmonterade hjul främst användas vid ombyggnad. (Danfors, 1977).

Enda skälet att välja ett däck med hög lagerklass är när däckets är utsatt för höga laster och det inte är möjligt att välja ett däck med större diameter eller bredd.

3.3.5. Däckets profilförhållande.

Kvoten mellan däckets sektionshöjd och bredden kallas profilförhållande. På äldre typer av däck var profilförhållandet 1, men på senare år har lågprofildäck introducerats. Hos dessa däck är profilförhållandet mindre än 1, och anges i % med ett snedstreck efter breddangivelsen på däckets.

Ex. 400/55-17.5 har profilförhållandet 55%, d.v.s. sektionshöjden är 55% av däckets bredd, vilket i detta fall blir 220 mm.

På personbilssidan används lågprofildäck av två orsaker, dels kan man bygga ett bredare däck med samma diameter, dels uppnår man en bättre kursstabilitet, eftersom den lägre däckssidan har en benägenhet att deformeras mindre vid sidokrafter.

I lantbrukssammanhang är orsakerna andra. Med en lågprofilkonstruktion är det möjligt att göra däckerna bredare utan att göra dem högre, vilket leder till däck med större volym tillåtande lägre lufttryck. Visserligen blir konsekvensen av den lägre profilen att rullmotståndet tenderar att öka, (Mc.Allister, 1983), men sammantaget med effekterna av den ökade bredden och det sänkta lufttrycket blir resultatet ett sänkt rullmotstånd.

I tabell 3 framgår hur rullmotståndet ökar med lägre profilförhållande vid körning i fält.

Tabell 3. Profilförhållandets inverkan på rullmotståndet. (Mc.Allister, 1983)

Effect of aspect ratio on CRR			
Tyre size	Aspect ratio	CRR	
		10 kN load	20 kN load
* 400-17.5	0.458	0.079	0.094
13.5-17.5	0.362	0.090	0.116
* 12.0-16	0.359	0.079	0.110
* 12.5-15	0.357	0.086	0.107
12.0-18 radial	0.355	0.064	0.095
12.0-18	0.341	0.083	0.100
* 7.50-16	0.264	0.125	—

* Tyres of same ply-rating

3.3.6. Däckets mönster.

Ett kraftigare mönster ger ett högre rullmotstånd både i fält och på väg. På väg beror detta dels på att krypningen mot underlaget ökar, dels kommer rörelsen i slitbanan med åtföljande deformationsenergi att öka. Detta leder till en högre arbetstemperatur i däckets, resulterande i ett högre slitage. Dessutom blir slitaget högre till följd av att endast en liten del av däckets är i kontakt med vägen, och den s. k. förslitningsintensiteten ökar.

I fält kommer ett kraftigt mönster att orsaka en ojämn tryckfördelning mot underlaget, med avsevärt högre tryck under nabbarna. Denna ojämna tryckfördelning ger en hårdare packning i vissa delar av marken än andra, och p.g.a. energiförlusterna vid nabbarnas inpressning i markytan fås ett onödigt högt rullmotstånd. (Möller, 1969).

Dock kan vissa typer av mönster vara nödvändiga för att säkerställa styr- och bromsförmåga. Även på maskiner med markdrivna funktioner kan det erfordras ett kraftigt mönster för att säkerställa maskinens funktion.

Dessutom har hävdats att däck med traktormönster skulle ge mindre skador vid körning i växande gröda.

3.3.7. Däckets konstruktion.

Ett radialdäck har mjukare däckssidor än ett diagonaldäck. En fördel med detta är att bärytan mot marken blir större, vilket ger ett lägre rullmotstånd. Detta bekräftas av engelska undersökningar som har visat att radialdäck har cirka 5% lägre rullmotstånd än diagonaldäck. (McAllister, 1983).

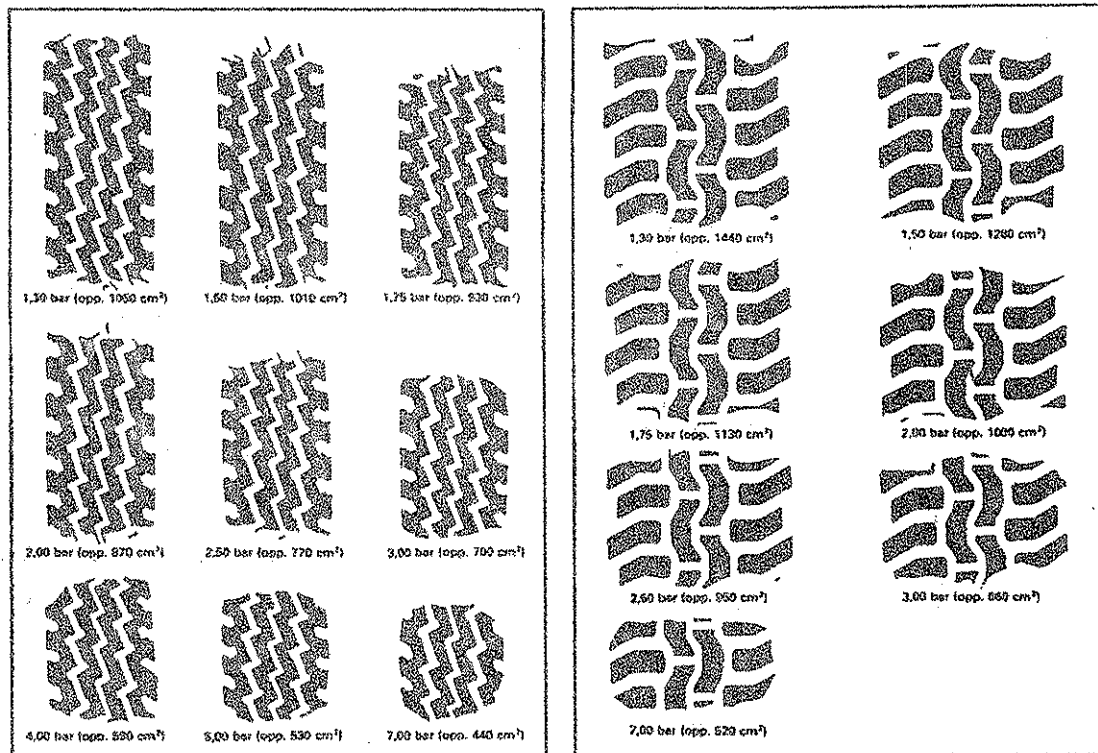
Överhuvudtaget är det viktigt med en mjuk konstruktion, eftersom detta ger en större bäryta mot marken och låg jordpackning. Jordpackningen bestäms av summan av två faktorer vilka tillsammans utgör marktrycket:

- lufttrycket i däckets
- karkasstrycket

Karkasstrycket är det tryck som uppstår mot marken till följd av däckssidorna och slitbanans styvhet.

Ju bredare däckets är desto viktigare är det med en mjuk konstruktion, eftersom risken för ett ökat bulldozing-motstånd är betydligt större då ett brett däck genom insjunkning förorsakar spår än för motsvarande smalare däck.

Mätningar har gjorts där ett däck har tryckts mot ett hårt underlag med en och samma last men med varierande lufttryck varvid kontaktytan registrerats. (Perdok, Terpstra, 1983). Ett exempel på sådana mätningar redovisas i figur 3 på nästa sida.



Figur 3. Uppmätta kontaktytor vid olika lufttryck. (Perdok, Terpstra, 1983)

3.3.8. Markens egenskaper.

För ett enskilt däck är det markens tillstånd som framför allt bestämmer storleken på rullmotståndet. Vid förflyttning från hård torr mark till mjuk blöt mark kan rullmotståndet öka med en faktor 4. (Dwyer, 1984).

Fördelarna med en väldimensionerad hjulutrustning blir större ju sämre markförhållandena är, och vid sådana markförhållanden är möjligheterna att ta ut dragkraft från de drivande hjulen små, vilket ännu mer betonar vikten av att uppnå ett lågt rullmotstånd.

3.3.9. Hastighetens betydelse.

Vilken inverkan hastigheten har beror på dimensioneringen av hjulutrustningen och markens tillstånd.

Om hjulen är dimensionerade så att de ger god bärighet trots svåra markförhållanden kan en sänkning av rullmotståndet uppträda vid en ökning av körhastigheten.

När bulldozing och kraftig spårbildning orsakas av hjulen kommer en ökning av hastigheten att ge ett ökat rullmotstånd.

Orsaken till att rullmotståndet sänks i vissa fall vid höjd hastighet är att trycket på marken kommer att ligga kvar under kortare tid, och därmed packas jorden mindre, vilket är likställt med mindre spårdjup och lägre rullmotstånd.

3.3.10. Last på hjulet.

Lasten kan påverka rullmotståndet på flera sätt sammanhängande med anpassningen av lufttrycket.

Ett fall är när vi ökar lasten utan att öka lufttrycket. I detta fall sjunker rullmotståndskoefficienten med ökande last, eftersom en större bäryta uppnås vid ökande last.

För att mäta den körda sträckan i fält användes ett cykelhjul monterat på traktorn. Detta hjul är pneumatiskt höj- och sänkbart och försett med en pulsgivare som ger 2500 pulser per hjulvarv. (Bild 2).

På traktorns vänstra sida sitter en vatten- och lufttät låda innehållande elektroniska räkneverk för inkoppling av pulsgivare. I denna låda sitter även en styrenhet till fotocellen, samt en kopplingsplint för inkoppling av datorn till elektroniklådan.

All mätutrustning uppe i traktorn sitter monterad i två lådor på ömse sidor av hytten. I dessa sitter gummiupphängda bord för att erhålla en skak- och vibrationsfri montering. Den utrustning som placerades i dessa lådor var en mikrodator av typ Hewlett Packard 85, en voltmeter, samt en bryggförstärkare för trådtöjningsgivare.

I övriga detaljer som har betydelse för denna undersökning överensstämmer traktorn med en konventionell traktor.

4.2. Försöksvagnen.

Som försöksvagn användes ett modifierat chassi till en Tive SÅ-Jet såmaskin . Till detta byggdes en lastram vari viktsatser av gjutjärn vägande 500 kg per styck kunde placeras. Förutom den tillgängliga standardaxeln till vagnen byggdes en axel med möjlig spårvidd upp till 3.5 meter. Detta var nödvändigt för att möjliggöra körning med testhjulen helt utanför traktorspåren, då man önskade bestämma rullmotståndskoefficienten på ostörd mark. (Bild 3 och 4).

På vagnens ena sida monterades en bygel utanför hjulet, och i denna sattes en pulsgivare som anslöts till vagnshjulet. Denna givare gav 200 pulser per hjulvarv till det elektroniska räkneverket på traktorn. (Bild 5).

Vagnsdraget kapades och i detta monterades en kraftgivare av trådtöjningstyp. Denna givare hade ett mätområde upp till 15 kN. (Bild 6).

Längst bak på vagnen monterades ett drag för spårdjupsmätning, samt en belysningsramp för att möjliggöra körning på allmän väg.

Försöksvagnen medger axelbelastningar från 500 kg upp till 7000 kg, och spårvidder mellan 1.8 meter och 3.5 meter. För att bestämma axellasten vägdes vagnen på en körväg innan mätningarna påbörjades.



Bild 1. Försökstraktorn med testvagnen och spårdjupsmätaren kopplad efter.

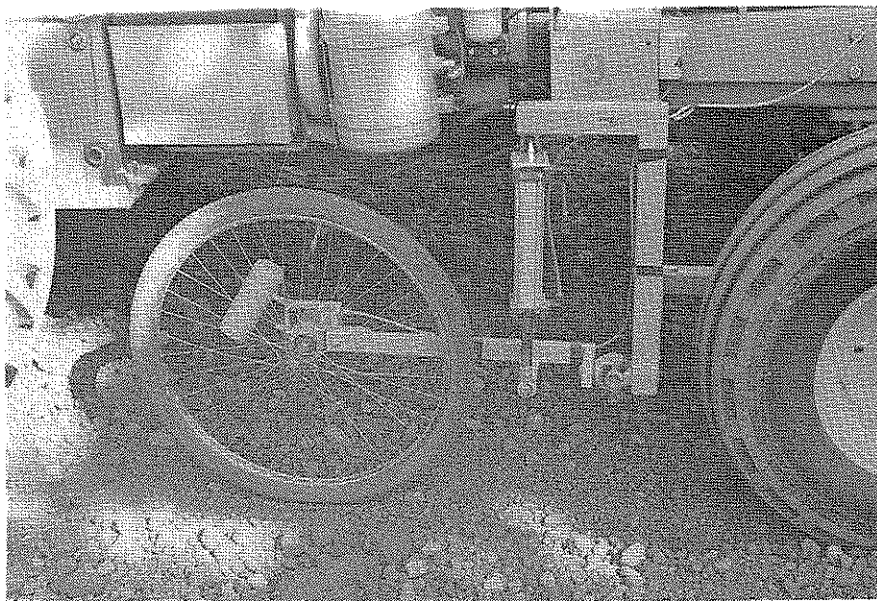


Bild 2. Traktorns 5:e hjul. Upp- och nedfällning sker pneumatiskt. Innanför cykelhjulets nav skymtar pulsgivaren.



Bild 3. Försöksvagnen med axel för körning med vagnshjulen utanför traktorspåren vid körning på torr harvad åker.

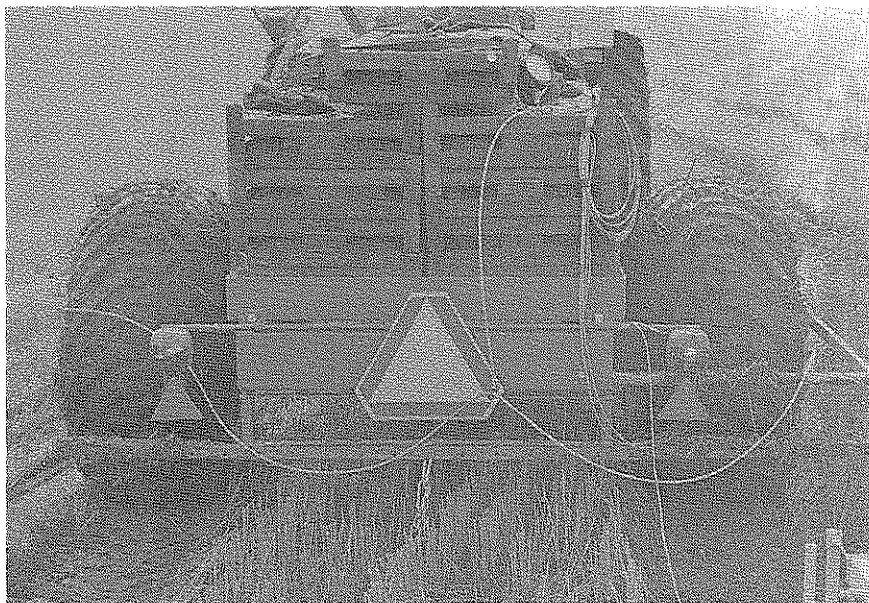


Bild 4. Körning på blöt stubbåker med axel överensstämmande med traktorns spårvidd.



Bild 5. På vagnens högra sida sitter en pulsgivare monterad som ger 200 pulser per hjulvarv.

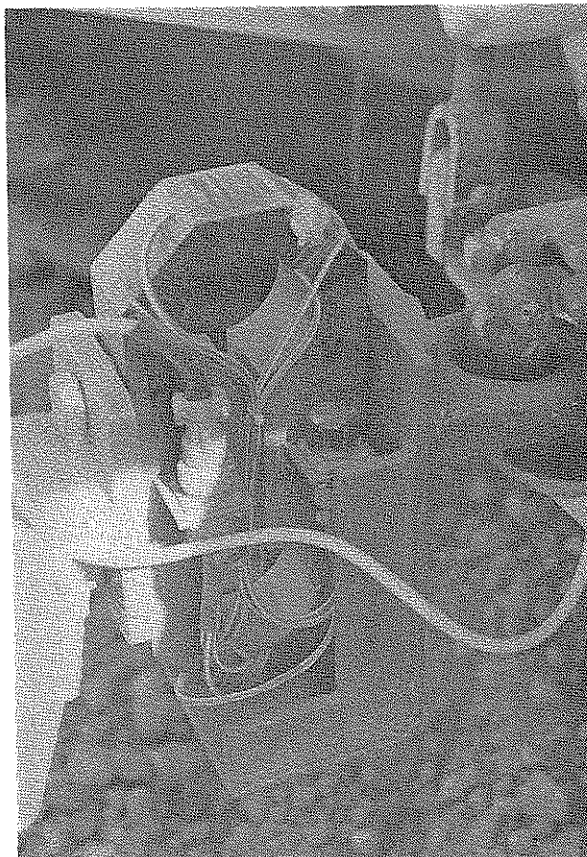
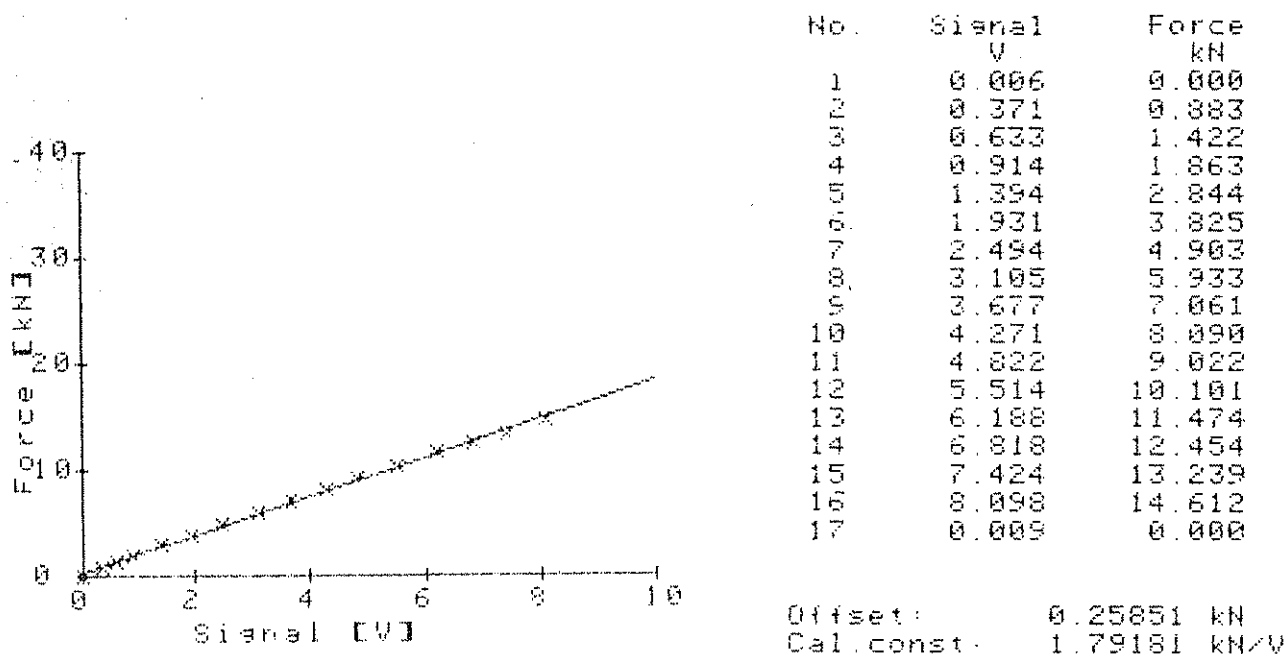


Bild 6. Dragkraftsgivaren. Vagnens drag kapades och givaren monterades i draget mellan traktorn och vagnen.

4.3. Kalibrering av dragkraftsgivaren.

Försöksvagnen kopplades efter traktorn, och ekipaget ställdes på plant underlag med parkeringsbromsen på traktorn åtdragen. En kätting kopplades i axeln på vagnen, och denna kätting drogs över en bock för att erhålla en horisontell draglinje. I kättingen fästes en dynamometer och ett spaklyftblock, och med denna anordning kunde givaren kalibreras upp till dragkrafter på 15 kN. De avlästa värdena på dynamometern matades in i datorn i traktorn, och signalen från dragkraftsgivaren lästes av automatiskt. En kalibreringskurva anpassad enligt minsta kvadratmetoden beräknades med hjälp av ett datorprogram. (Figur 4).



Figur 4. Datorn användes vid kalibreringen till beräkningarna, och ovanstående utskrift erhöles.

4.4. Spårdjupsmätare.

I inledningsskedet byggdes en spårdjupsmätare avsedd för manuell mätning. Denna gjordes av aluminiumprofiler och består av en bygel avsedd att placeras gränsle över spåret och en stång med en millimetergraderad skala som förs ned i spåret. Före körningen lades plattor ut på marken, och spårdjupsmätaren nollställdes i förhållande till marknivån när den stod på dessa plattor. Därefter kördes mätsträckan, och slutligen mättes spårdjupet då mätaren placerades på de i förväg utlagda plattorna. Det uppmätta spårdjupet matades in i traktorns dator, och ett medelspårdjup beräknades på varje delsträcka, baserat på 4 mätningar per sträcka. Denna metod visade sig vara alltför arbetskrävande, och dessutom var det önskvärt med större noggrannhet i mätningarna. (Bild 7).

För att underlätta mätningarna och för att erhålla säkrare mätresultat beslöts att bygga en automatisk spårdjupsmätare. Denna består av en släde med två medar, 1200x70 mm, och på denna släde sitter en mätmed, 30x 200 mm, som via ett länksystem är förbunden med en potentiometer. Denna matas från det extra 12-voltssystemet på traktorn, och avläsning sker automatiskt via voltmetern och datorn. Släden bogseras i kedjor efter vagnen, och är lätt anpassningsbar till olika spårvidder. Kalibrering utfördes genom att lägga klossar under medarna, och avläsa signalen för olika höjder på mätmeden. Denna försöksapparat visade sig fungera väl utom på mycket ojämna underlag. (Bild 8 och 9).

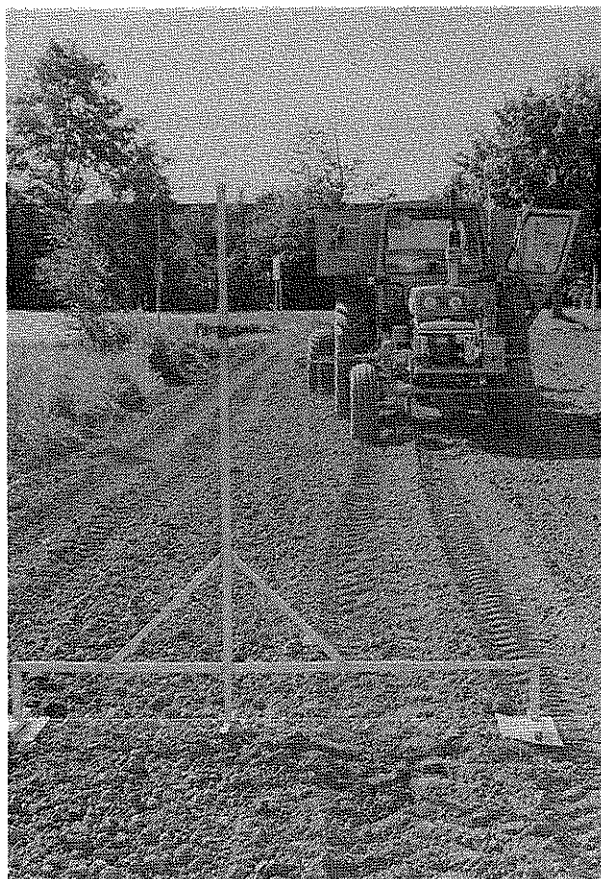


Bild 7. Den manuella spårdjupsmätaren. Lägga märke till plattorna som utlades före körning, och på vilka spårdjupsmätaren nollställdes i förhållande till underlaget.



Bild 8. Spårdjupsmätningssläden med mätarna gående på ostörd mark och mätmedlen gående i hjulspåret.



Bild 9. Via ett länksystem är mätmedlen förbunden med en potentiometer som är monterad i en vattentät låda.

5. BESKRIVNING AV DÄCKEN.

5.1. Allmänt.

Samtliga däck som testades i undersökningen var av lågprofiltyp (bild 10). De tillät en maxbelastning av 4850 kg vid ett lufttryck av 2.8 bar eller lägre. Vilka dimensioner som ingick i undersökningen framgår av tabell 6.

Tabell 6. I undersökningen använda däck.

Dimension	Diameter (mm)	Bredd (mm)
400/60-15.5	875	405
400/55-17.5	880	400
400/55-22.5	1000	400
500/45-22.5	1000	500
500/60-22.5	1170	503
600/50-22.5	1170	600

De i tabellen angivna värdena för bredd och diameter är nominella mått med däcken pumpade till rätt lufttryck men utan last.

I tabell 8 visas vilka jämförelser som gjorts mellan däcken.

5.2. Mönster.

Fem olika mönstervarianter ingick i undersökningen. Dessa visas på bild 11 - 15.

I tabell 7 redovisas nabbhöjd samt förhållandet mellan nabbyta och anliggningsyta.

Tabell 7. I undersökningen använda däcksmönster.

Mönster	Ribb-nabbhöjd (mm)	% ribb-nabbyta av anl.yta. (ungefärligt)
478	15	80
443	15	80
404	20	50
421	35	35
414	35	30

5.3. Konstruktion och profilförhållande.

Tre olika typer av däckskonstruktion testades. Dessa var:

- normal konstruktion av diagonaltyp i lågprofil.
- diagonaltyp med stålbälte i lågprofil.
- Garden Tractor, dvs diagonaltyp med mjukare konstruktion och gummiblandning. (Detta däck är ursprungligen avsett för grönytor).

Profilförhållandet på de testade däcken varierade mellan 45 och 60 procent av bredden.

5.4. Lufttryck.

Lufttrycken i däcken låg mellan 0.8 och 2.8 bar vid testerna. Dessa tryck bestämdes med hänsyn till de tillåtna belastningarna på däcken som i sin tur i första hand beror av lagerklass och storlek hos däcken. Ur bilagan från Trelleborg AB framgår vilka lufttryck som korresponderar med belastningarna för de testade däcken samt tillåtna maxlaster.

Tabell 8.
Jämförelser mellan däck.

Dimension	PR	Konstr. Mönster	Jämförd faktor
400/60-15.5	16	SB	478
400/60-15.5	8	N	478
400/55-17.5	8	N	478
400/55-17.5	8	N	414
400/55-17.5	8	N	404
400/55-17.5	8	N	443
400/55-17.5	14	N	443
400/55-22.5	8	N	443
400/55-22.5	8	N	404
500/45-22.5	8	N	404
500/60-22.5	8	N	404
500/60-22.5	8	N	421
600/50-22.5	8	N	404
600/50-22.5	6	GT	404

konstruktion, lagerklass

profilförhållande

mönster

lagerklass

diameter

mönster

bredd, profilförhållande

diameter

mönster

bredd, profilförhållande

konstruktion, lagerklass



Bild 10. De i undersökningen använda däckdimensionerna. Från vänster till höger: 400/55-17.5 (samma ytterdim. som 400/60-15.5), 400/50-22.5, 500/45-22.5, 500/60-22.5 och 600/50-22.5.

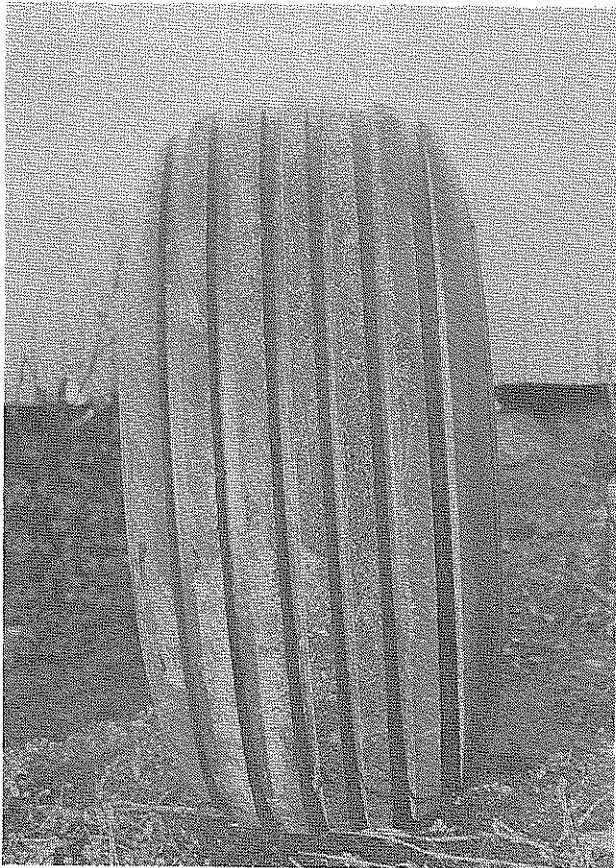


Bild 11. Mönster 443.



Bild 12. Mönster 414.

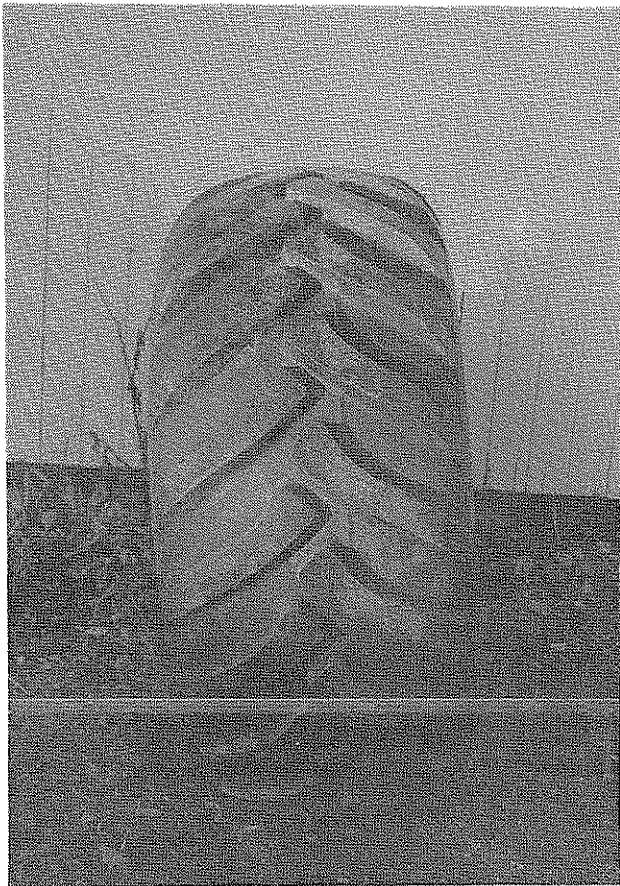


Bild 13. Mönster 421.

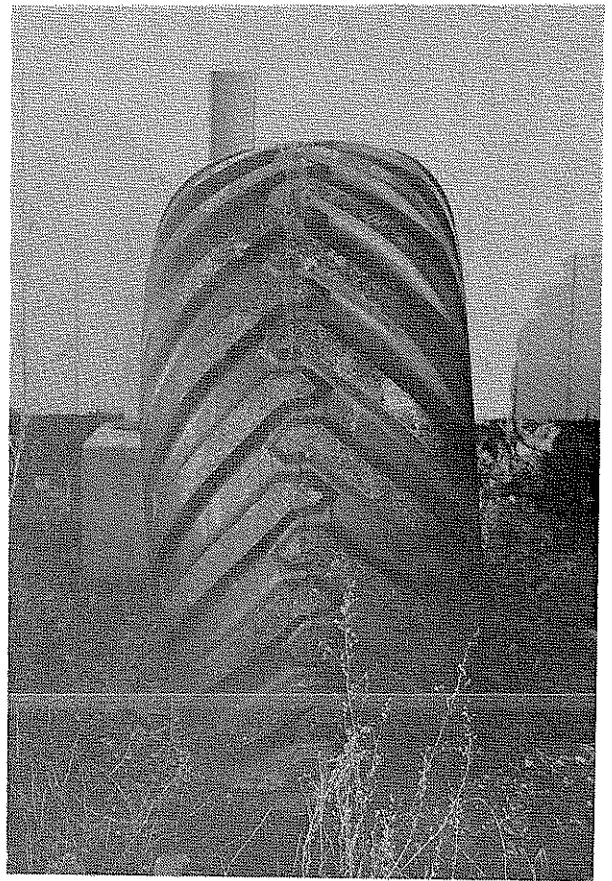


Bild 14. Mönster 404.



Bild 15. Mönster 478.

6. FÖRSÖKENS UTFÖRANDE.

6.1. Försöksmetodik på asfalt.

Vid däcktesterna på asfalt skulle rullradie och rullmotståndskoefficient vid 30 km/h bestämmas. Teststräckor mättes upp på en vägsträcka mellan vindbron och Kungsängens gård belägen 3 kilometer öster om lantbruksuniversitetet. Ett 900 meter långt vägavsnitt avvägdes och befanns luta mindre än 1 promille längs hela vägsträckan. Fyra stycken sträckor med 120 meters längd uppmättes i vardera riktningen, sålunda totalt 8 st. I början och slutet av varje mätsträcka placerades käppar, vars uppgift var att starta och stoppa mätningarna med hjälp av den på traktorn monterade fotocellen.

Före körningarna kalibrerades dragkraftsgivaren på försöksvagnen, och vagnen vägdes för att bestämma axelbelastningen. Lufttrycket i däcken på vagnen kontrollerades, och ekipaget kördes ut till teststräckan. (Genom hela försöksserien eftersträvades att däcken skulle gå ca 3 km på väg innan testerna påbörjades, detta för att däcken skulle uppnå arbetstemperatur). Före testens början matades uppgifter om testen in i datorn. Dessa uppgifter var:

- datum och klockslag
- däckdata såsom dimension, typ och lufttryck
- axelbelastning på vagnen
- teststräckornas längd

Därefter nollställdes förstärkaren för dragkraftsgivaren, och allting var klart för körning. Ekipaget accelererades upp till full fart, dvs 30 km/h. Då den första mätpinnen passerades bröts ljusstrålen till fotocellen och mätningarna av tid, dragkraft och antal varv vagnshjulet rullat startades.

Efter varje delsträcka erhöles uppgifter på datorns bildskärm om medelhastighet under sträckan, antal mätningar gjorda under delsträckan samt vilken delsträcka i ordningen som körts. Efter nytt klarkommando till datorn kunde nästa delsträcka köras, och efter 8 delsträckor var mätningarna avslutade. Denna procedur tog vanligtvis cirka 5 minuter.

Avslutningsvis gavs datorn kommando att utföra beräkningar och lagring av data. Beräkning av resultat och datalagring tog cirka 15 minuter i anspråk, men eftersom antingen hjulbyte eller justering av lufttryck skulle utföras var detta aldrig försenande för mätningarnas utförande. Under dessa 15 minuter presenterade datorn löpande de senast beräknade försöksresultaten på bildskärmen och efter avslutade beräkningar gjordes en utskrift på papper som arkiverades.

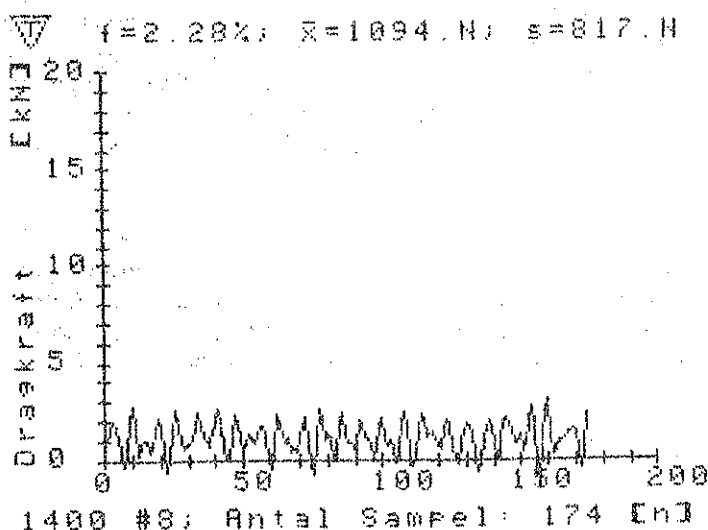
Denna utskrift innehåller följande data (Figur 5):

- ett tabellhuvud med presentation av allmänna data på däck
- diagram över dragkraftens variation på varje delsträcka
- antal mätningar gjorda på varje delsträcka
- medelvärde och standardavvikelse för dragkraften på varje delsträcka
- beräknad rullmotståndskoefficient på varje delsträcka
- en statistisk sammanfattning med ett resultat sammanvägt av alla delsträckorna

(Observera att standardavvikelsen visar dynamiken i fordonskombinationen, och inte den reella standardavvikelsen för dragkraften under en längre tidsperiod.)

Totalt kördes varje däck 8 sträckor à 120 meter, det vill säga en knapp kilometer. På denna sträcka gjordes cirka 1400 mätningar av dragkraften.

Figur 5. Delar av utskriften från datorn vid körning på asfalt.



***** T1400 *****

RULLMOTSTANDSTEST

1984-08-13 kl. 18.23
 Dimension: 400/55-22.5
 Lagerklass: 8
 Typ av Däck: N
 Mönster: 443
 Belastning: 2438 kg/däck
 Lufttryck: 2.1 bar
 Underlag: ASFALT
 TORR
 Hjulställ: SPARANDE
 Hastighet: 30 km/h

STATISTISK SAMMANFATTNING

Antal körningar: 8
 Totalt antal sampel: 1387
 Värd medelvärde: 1097 N
 Värd std.avvik.: 828 N
 Värd rullmotst.: 2.3 %
 Medelspår djup: 0 mm
 Värd slirning: 0.0 %
 Värd rulln.radie: 487 mm

6.2. Försöksmetodik i fält.

Förberedelserna före testerna i fält var ganska snarlika de vid asfalttesterna. De däck som skulle testas monterades på vagnen, och lufttrycken kontrollerades. Dragkraftsgivaren kalibrerades före varje försöksserie. På fältet där testerna skulle köras uppmättes en teststräcka på 100 meter, och mätkäppar till fotocellen placerades ut i början och slutet av denna sträcka. Ett kalibreringsprogram för traktorns 5:e hjul laddades i datorn och genom att mata in teststräckans längd i datorn, och starta och stoppa kalibreringsmätningen med fotocellen erhöles en beräknad rullradie på 5:e hjulet.

Vid körning i fält användes sedan 5:e hjulet som mätare av den körda teststräckan, och man blev därigenom oberoende av uppmätning av varje försökssträcka. Detta var aldrig något problem vid körning på asfalt, men vid körning i fält krävdes ju ny uppmätning av teststräckorna före varje körning, eftersom körning i samma spår inte var möjlig som i fallet på asfalt. Start och stopp av mätningarna löstes istället genom att låta datorn göra 200 mätningar per delsträcka, och därefter stoppa mätningarna. Detta förfarande gav mätsträckorna en längd på ca. 25 meter vid körning i 5 km/h.

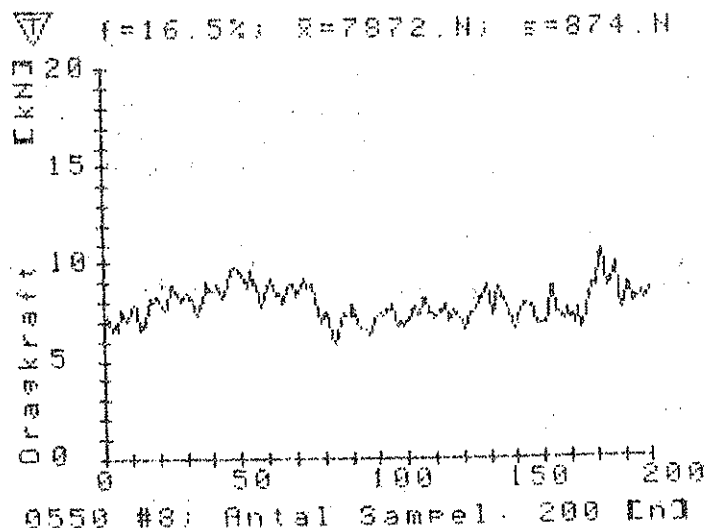
Som försöksfält eftersträvades jämna plana fält. Helt plana fält var ej möjligt att få, och därför kördes lika många mätsträckor i båda riktningarna.

På torr harvad åker användes den manuella spår djupsmätaren som tidigare beskrivits i texten. Denna metod visade sig vara varken tillräckligt snabb eller tillräckligt noggrann, och därför byggdes spår djupsmätningssläden.

Testen börjades snarlikt som vid asfalttesterna med inmatning av däckdata, typ av underlag och axelbelastning. När den önskade körhastigheten var uppnådd (i detta fall 5 km/h) startades mätningen genom att trycka på en tangent på datorn. Datorn gjorde då 200 avläsningar av dragkraften, 25 avläsningar av spår djupet, samt läste av de elektroniska räkneverken för pulsgivarna på traktor och vagn. Efter varje delsträcka gav datorn på bildskärmen information om körhastighet, spår djup och nummer på den körda sträckan.

När alla 8 delsträckorna körts ritade datorn upp dragkraftsdiagrammen, samt beräknade spår djup, slirning, dragkraft och rullmotstånd. (Figur 6).

Figur 6. Delar av utskriften från datorn vid körning i fält.



***** T0550 *****

RULLMOTSTANDSTEST

1984-09-13 kl. 16.18
 Dimension: 400/55-17.5
 Laserklass: 8
 Typ av Däck: N
 Mönster: 414
 Belastning: 2425 kg/däck
 Lufttryck: 2.8 bar
 Underlag: STUBBAKER
 BLÖT
 Hjulställ: SPARANDE
 Hastighet: 5 km/h

STATISTISK SAMMANFATTNING

Antal körningar: 8
 Totalt antal sample: 1600
 Väst medelvärde: 7308 N
 Väst std. avvik.: 924 N
 Väst rullmotst.: 15.4 %
 Medelspår djup: 29 mm
 Väst slirning: 3.4 %
 Rullradie: 431 mm

7. RESULTAT.

7.1. Allmänt.

I denna undersökning har avsikten varit att undersöka hur olika parametrar hos hjulet påverkar rullmotståndet, slirningen och spår djupet. De faktorer som främst har betydelse i detta fall är följande:

- diameter
- bredd
- mönster
- profilförhållande
- konstruktion
- lagerklass
- lufttryck

Dessa faktorer påverkar rullmotståndet olika vid körning på hårt respektive mjukt underlag. Vid körning på hårt underlag är rullmotståndet en funktion av däckets deformationsenergi och den energi som går förlorad vid däckets krypning mot den hårda ytan.

Däremot är rullmotståndet betydligt mer beroende på den energi som krävs för att deformera marken vid körning på mjukt underlag. Naturligtvis är rullmotståndet även beroende på däckets deformationsenergi i detta fall, men denna är relativt liten i förhållande till markens och kommer därför att vara av underordnad betydelse.

7.2. Mätresultat vid körning på asfalt.

De uppmätta rullmotståndskoefficienterna och rullradierna redovisas i tabell 9. Ur resultaten kan utläsas att ökad diameter liksom ökad bredd ger minskat rullmotstånd. Profilmåttförhållandet kan i viss mån inverka på rullmotståndet, detta beroende på att ett däck med lägre däckssida kommer att deformeras mindre än ett med hög däckssida.

Med ökad aggressivitet i mönstret ökar rullmotståndet väsentligt. Detta kan man speciellt se på mönstervarianterna 414 och 421 som båda är försedda med höga nabbar. En styv däckskonstruktion typ Steel Belt ger ett lägre rullmotstånd eftersom detta däck deformeras mindre. Samma sak gäller om man ökar lagerklassen, dvs rullmotståndet minskar.

En intressant detalj som framkommit vid asfalttesterna är att det mjuka Garden Tractor-däcket uppvisar ett betydligt lägre rullmotstånd än motsvarande däck i konventionell konstruktion. Detta talar ju emot tidigare resonemang, nämligen att ett däck med styvare konstruktion går lättare, liksom när man ökar lagerklassen. Man skulle kunna tänka sig att dels har Garden Tractordäcket en annan gummiblandning än de övriga däcken, och detta skulle kunna resultera i att friktionen vid däckets krypning sker på ett annat sätt mot markytan, dels skulle den mjuka konstruktionen lättare kunna medge en deformation av däckets, som i så fall skulle kräva mindre energi och därmed ge ett lägre rullmotstånd.

Rullradierna som uppmättes vid körning på väg är så kallade dynamiska rullradier, och dessa är skilda från däckets statiska rullradier. Detta beror på däckets ständiga krypning mot underlaget, som resulterar i att däckets får en större rullradie än den vid stillastående (statisk).

Tabell 9.

Uppmätta rullmotståndskoefficienter och rullradier vid körning på asfalt.
Körhastighet 30 km/h.

Dimension	PR	Mönster	Typ	Lufttr. (bar)	Axel- belastn. (kg)	CRR (%)	Rullradie (mm)
400/60-15.5	16	478	SB	2.8	4850	2.0	409
400/60-15.5	8	478	N	2.8	4850	2.3	415
400/55-17.5	8	478	N	2.8	4850	2.3	418
400/55-17.5	8	414	N	2.8	4850	3.2	431
400/55-17.5	8	404	N	2.8	4850	3.0	415
400/55-17.5	8	443	N	2.8	4850	2.2	431
400/55-17.5	14	443	N	2.8	4850	2.1	422
400/55-22.5	8	443	N	2.8	4875	1.9	494
400/55-22.5	8	443	N	2.1	4875	2.3	487
400/55-22.5	8	404	N	2.8	4875	2.2	487
400/55-22.5	8	404	N	2.1	4875	2.6	481
500/45-22.5	8	404	N	2.8	4875	2.0	495
500/45-22.5	8	404	N	1.4	4875	2.9	481
500/60-22.5	8	404	N	2.8	4875	1.7	559
500/60-22.5	8	404	N	1.0	4875	3.1	530
500/60-22.5	8	421	N	2.8	4875	2.3	562
500/60-22.5	8	421	N	1.0	4875	4.2	537
600/50-22.5	8	404	N	2.8	4875	1.8	576
600/50-22.5	8	404	N	0.8	4875	4.3	541
600/50-22.5	6	404	GT	2.8	4875	1.3	585
600/50-22.5	6	404	GT	0.8	4875	3.0	551

7.3. Mätresultat vid körning i fält.

Samtliga uppmätta värden på de olika underlagen redovisas i tabell 10-14. Nedan följer en presentation av de olika faktorernas inverkan på rullmotståndet.

7.3.1. Rullmotståndskoefficient.

Vid körning i fält gav en ändring av hjulkarakteristika inte alltid samma resultat som vid körning på hårt underlag. En ökning av diametern hos hjulet gav i fält ett minskat rullmotstånd, beroende på den ökade kontaktytan mot marken.

Inverkan av hjulets bredd var varierande beroende på hjulets diameter och markförhållandena. En ökning av hjulets bredd från 400 till 500 mm då hjulet hade en diameter på 1000 mm medförde i vissa fall en ökning av rullmotståndet. Detta kan troligen hänföras till en ökande bulldozing-effekt. Däremot gav en ökning av bredden från 500 till 600 mm då hjulet hade en diameter av 1200 mm alltid en sänkning av rullmotståndet.

Liksom vid körning på hårt underlag medförde ett mönster med höga nabbar ett ökat rullmotstånd (främst mönster 414 och 421). Orsaken till detta är den ojämna tryckfördelning som skapas med höga tryck under nabbarna vilket ger ett dåligt utnyttjande av däckets bärförmåga och ökad deformationsenergi såväl i däckets som i marken.

Däcken med höga lagerklasser (14-16) hade ett högre rullmotstånd än motsvarande däck med lägre lagerklass. Dessa däck är styvare, och deformeras mindre i kontaktytan mot marken, vilket leder till en mindre bäryta. En mindre bäryta leder i sin tur till ökat marktryck och ökad nedsjunkning i marken med ökat rullmotstånd som resultat.

Däck med lägre profilförhållande visade ungefär samma resultat som däck med högre lagerklass, det vill säga att de i vissa fall uppvisade ett högre rullmotstånd, eftersom en lägre däckssida troligen är styvare än en högre och därför kommer att deformeras mindre mot marken.

Garden Tractor däckets med sin mjuka konstruktion och gummiblandning hävdade sig väl vid körning på samtliga underlag i fält och var det däck som hade det lägsta rullmotståndet i samtliga tester. Det mjuka däckets deformeras lättare mot underlaget, vilket ger en stor bäryta och därmed liten nedsjunkning, vilket resulterar i ett lågt rullmotstånd.

Lufttrycket i däckets har stor inverkan på rullmotståndet vid körning i fält. Ju mjukare däckets är i stommen, ju större fördel är det att sänka lufttrycket eftersom ett mjukare däck ökar sin bäryta mot marken mer än ett styvt däck vid lika stor lufttryckssänkning. De lägsta rullmotstånden uppvisas av de däck som har medgett de största sänkningarna av lufttrycken.

7.3.2. Spårdjup.

Anledningen till att spårdjupsmätningarna gjordes är att spårdjupet är ett mått på försämringen av markstrukturen. Tyvärr inleddes undersökningen med en otillräcklig mätutrustning för spårdjupet, och det är i första hand spårdjupsmätningarna på stubbåker som bör ägnas intresse eftersom den betydligt noggrannare spårdjupsmätningssläden användes där.

Spårdjupet är i samtliga fall mått till mönsterbotten på däckets, och därför bör uppmärksammas att däckets med höga nabbar i realiteten har ett större spårdjup än det som redovisas i tabellerna.

Resultaten visar entydigt att ökat spårdjup leder till ett ökat rullmotstånd. Detta förefaller ju rimligt, eftersom samma faktorer som leder till ett lågt rullmotstånd även leder till ett lågt marktryck och därmed ett litet spårdjup.

En kommentar som bör uppmärksammas är att spårdjupsmätningarna efter vagnen då den spårar med traktorn innefattar det totala spårdjupet efter hela ekipaget, det vill säga både traktor och vagn.

7.3.3. Slirning.

Avsikten med slirningsmätningarna var att undersöka om det har någon betydelse för rullmotståndets storlek om slirningen når höga värden. Detta har inte kunnat konstateras, delvis till följd av att inga höga slirningar har uppträtt, trots att vissa tester har skett under så besvärliga förhållanden att fastkörning har inträffat.

De däck som har haft höga rullmotstånd har varit försedda med aggressivt mönster, och dessa mönster har gett låga slirningar.

En osäkerhet vid slirningsbestämningarna ligger i bestämningen av däckets rullradie. Nollslirningen definierades vid körning på hårt underlag, och detta resulterade i att en något inkorrekt rullradie erhöles för fältförhållanden. Resultatet av detta blev att vissa slirningar blev positiva istället för negativa, vilket överensstämmer med att däckets dynamiska rullradie är något större än den statiska, till följd av krypningen mot underlaget.

Därför bör slirningsmätningarna endast ses som jämförande värden mellan däcken, och då kan konstateras att:

- däck med grövre mönster ger lägre slirning
- däck med större diameter ger lägre slirning
- däck med mjukare konstruktion ger lägre slirning
- sänkt lufttryck ger lägre slirning

7.3.4. Jämförelse mellan underlagen.

Testunderlagen uppvisar väldigt olika egenskaper sinsemellan. Den maximala uppmätta rullmotståndskoefficienten på torr harvad åker när vagnen spårade med traktorn var 11%, medan den vid körning på blöt plöjd åker uppgick till 26%. Trots dessa stora skillnader kan konstateras att rangordningen mellan däcken med avseende på rullmotståndet är i stort sett oförändrad genom samtliga försöksled.

Förändringar i hjulutrustningen gav entydigt likadana effekter på rullmotståndet oavsett underlagets typ vid körning i fält om man undantar förändring av bredden på ett 1000 mm högt däck.

Tabell 10

Testresultat vid körning på torr harvad åker.
Hjulställ på vagnen: spårande.
Hastighet 5 km/h.
Jordart: mellanlera.
Fukthalt: 12 %

Dimension	PR	Mönster	Konstr.	Lufttr.	Axelbel.	CRR	Slirning	Spårdjup
				bar	kg	%	%	mm
400/60-15.5	16	478	SB	2.8	4825	10.4	-4.5	46
400/60-15.5	8	478	N	2.8	4825	9.3	-4.1	48
400/55-17.5	8	478	N	2.8	4825	9.5	-4.2	44
400/55-17.5	8	414	N	2.8	4825	11.0	-2.6	49
400/55-17.5	8	404	N	2.8	4825	9.8	-3.9	49
400/55-17.5	8	443	N	2.8	4825	8.5	-3.5	41
400/55-17.5	14	443	N	2.8	4825	8.4	-2.4	42
400/55-22.5	8	443	N	2.8	4825	8.3	-2.7	40
400/55-22.5	8	443	N	2.1	4825	8.0	-2.7	34
400/55-22.5	8	404	N	2.8	4825	9.2	-2.6	43
400/55-22.5	8	404	N	2.1	4825	8.5	-2.5	46
500/45-22.5	8	404	N	2.8	4850	10.0	-3.0	33
500/45-22.5	8	404	N	1.4	4850	8.8	-2.5	46
500/60-22.5	8	404	N	2.8	4900	9.0	-2.7	43
500/60-22.5	8	404	N	1.0	4900	8.0	-1.7	38
500/60-22.5	8	421	N	2.8	4900	10.0	-2.4	41
500/60-22.5	8	421	N	1.0	4900	8.8	-1.4	35
600/50-22.5	8	404	N	2.8	4900	8.3	-2.5	39
600/50-22.5	8	404	N	0.8	4900	8.1	-1.6	38
600/50-22.5	6	404	GT	2.8	4900	6.9	-1.6	30
600/50-22.5	6	404	GT	0.8	4900	6.0	-1.2	26

Tabell 11

Testresultat vid körning på torr harvad åker.

Hjulställ på vagnen: ej spårande.

Hastighet 5 km/h.

Jordart: mellanlera.

Fukthalt: 12 %

Dimension	PR	Mönster	Konstr.	Lufttr.	Axelbel.	CRR	Slirning	Spårdjup
				bar	kg	%	%	mm
400/60-15.5	16	478	SB	2.8	4825	14.6	-10.0	40
400/60-15.5	8	478	N	2.8	4825	14.5	-9.7	42
400/55-17.5	8	478	N	2.8	4825	14.7	-9.7	-
400/55-17.5	8	414	N	2.8	4825	16.0	-7.5	-
400/55-17.5	8	404	N	2.8	4825	16.2	-10.6	-
400/55-17.5	8	443	N	2.8	4825	15.6	-10.5	48
400/55-17.5	14	443	N	2.8	4825	14.5	-9.4	40
400/55-22.5	8	443	N	2.8	4825	13.5	-8.8	44
400/55-22.5	8	443	N	2.1	4825	12.7	-8.1	-
400/55-22.5	8	404	N	2.8	4825	13.5	-8.5	-
400/55-22.5	8	404	N	2.1	4825	11.8	-7.0	39
500/45-22.5	8	404	N	2.8	4850	13.8	-10.5	-
500/45-22.5	8	404	N	1.4	4850	12.0	-7.5	-
500/60-22.5	8	404	N	2.8	4900	13.0	-9.4	49
500/60-22.5	8	404	N	1.0	4900	10.8	-6.2	28
500/60-22.5	8	421	N	2.8	4900	13.5	-9.0	-
500/60-22.5	8	421	N	1.0	4900	11.6	-5.3	-
600/50-22.5	8	404	N	2.8	4900	12.5	-8.8	-
600/50-22.5	8	404	N	0.8	4900	10.9	-5.9	-
600/50-22.5	6	404	GT	2.8	4900	11.9	-9.0	43
600/50-22.5	6	404	GT	0.8	4900	8.8	-4.1	25

Tabell 12

Testresultat vid körning på blöt stubbåker.

Hjulställ på vagnen: spårande.

Hastighet 5 km/h.

Jordart: mellanlera.

Fukthalt: 40 %

Dimension	PR	Mönster	Konstr.	Lufttr.	Axelbel.	CRR	Slirning	Spårdjup
				bar	kg	%	%	mm
400/60-15.5	16	478	SB	2.8	4825	14.0	-1.3	34
400/60-15.5	8	478	N	2.8	4825	12.8	-2.5	31
400/55-17.5	8	478	N	2.8	4825	13.0	-2.0	34
400/55-17.5	8	414	N	2.8	4825	15.4	+3.4	29
400/55-17.5	8	404	N	2.8	4825	13.6	-0.4	31
400/55-17.5	8	443	N	2.8	4825	12.0	+0.3	33
400/55-17.5	14	443	N	2.8	4825	11.8	-0.2	29
400/55-22.5	8	443	N	2.8	4825	10.3	-0.7	32
400/55-22.5	8	443	N	2.1	4825	9.2	-1.2	25
400/55-22.5	8	404	N	2.8	4825	11.2	0	26
400/55-22.5	8	404	N	2.1	4825	10.0	-0.2	24
500/45-22.5	8	404	N	2.8	4850	10.8	+0.3	20
500/45-22.5	8	404	N	1.4	4850	9.4	-0.5	15
500/60-22.5	8	404	N	2.8	4900	10.5	+0.8	29
500/60-22.5	8	404	N	1.0	4900	8.8	-1.2	18
500/60-22.5	8	421	N	2.8	4900	11.1	+1.2	21
500/60-22.5	8	421	N	1.0	4900	10.4	+0.1	11
600/50-22.5	8	404	N	2.8	4900	10.2	+0.3	29
600/50-22.5	8	404	N	0.8	4900	9.5	-1.8	20
600/50-22.5	6	404	GT	2.8	4900	9.0	+0.2	28
600/50-22.5	6	404	GT	0.8	4900	7.1	-0.7	17

Tabell 13

Testresultat vid körning på blöt stubbåker.
Hjulställ på vagnen: ej spårande.
Hastighet 5 km/h.
Jordart: mellanlera.
Fukthalt: 40 %

Dimension	PR	Mönster	Konstr.	Lufttr.	Axelbel.	CRR	Slirning	Spårdjup
				bar	kg	%	%	mm
400/60-15.5	16	478	SB	2.8	4825	12.9	-0.7	27
400/60-15.5	8	478	N	2.8	4825	12.1	-1.6	26
400/55-17.5	8	478	N	2.8	4825	11.5	-1.0	26
400/55-17.5	8	414	N	2.8	4825	14.9	+2.7	21
400/55-17.5	8	404	N	2.8	4825	13.1	-0.9	22
400/55-17.5	8	443	N	2.8	4825	11.8	-1.2	21
400/55-17.5	14	443	N	2.8	4825	11.6	-0.2	22
400/55-22.5	8	443	N	2.8	4825	9.8	-1.1	21
400/55-22.5	8	443	N	2.1	4825	9.2	-1.4	17
400/55-22.5	8	404	N	2.8	4825	10.5	-0.3	19
400/55-22.5	8	404	N	2.1	4825	9.4	-0.1	13
500/45-22.5	8	404	N	2.8	4850	9.9	-0.4	15
500/45-22.5	8	404	N	1.4	4850	9.0	-0.9	14
500/60-22.5	8	404	N	2.8	4900	8.8	+0.8	17
500/60-22.5	8	404	N	1.0	4900	8.4	0	8
500/60-22.5	8	421	N	2.8	4900	10.8	+1.0	19
500/60-22.5	8	421	N	1.0	4900	10.3	+0.2	10
600/50-22.5	8	404	N	2.8	4900	9.0	+0.3	19
600/50-22.5	8	404	N	0.8	4900	8.7	-1.1	11
600/50-22.5	6	404	GT	2.8	4900	7.8	+0.5	19
600/50-22.5	6	404	GT	0.8	4900	6.6	0	11

Tabell 14

Testresultat vid körning på blöt plöjd åker.

Hjulställ på vagnen: spårande.

Hastighet 5 km/h.

Jordart: mellanlera.

Fukthalt: 35 %

Dimension	PR	Mönster	Konstr.	Lufttr.	Axelbel.	CRR	Slirning	Spårdjup
				bar	kg	%	%	mm
400/60-15.5	16	478	SB	2.8	4825	22.9	-3.2	-
400/60-15.5	8	478	N	2.8	4825	22.9	-3.8	-
400/55-17.5	8	478	N	2.8	4825	23.8	-4.6	-
400/55-17.5	8	414	N	2.8	4825	26.4	-2.4	-
400/55-17.5	8	404	N	2.8	4825	25.2	-4.8	-
400/55-17.5	8	443	N	2.8	4825	23.5	-4.2	-
400/55-17.5	14	443	N	2.8	4825	23.1	-3.9	-
400/55-22.5	8	443	N	2.8	4825	22.4	-4.5	-
400/55-22.5	8	443	N	2.1	4825	21.6	-3.4	-
400/55-22.5	8	404	N	2.8	4825	23.8	-4.3	-
400/55-22.5	8	404	N	2.1	4825	22.1	-3.6	-
500/45-22.5	8	404	N	2.8	4850	22.2	-2.3	-
500/45-22.5	8	404	N	1.4	4850	18.5	-3.3	-
500/60-22.5	8	404	N	2.8	4900	20.0	-2.1	-
500/60-22.5	8	404	N	1.0	4900	15.9	-3.8	-
500/60-22.5	8	421	N	2.8	4900	21.0	-2.1	-
500/60-22.5	8	421	N	1.0	4900	17.1	-3.0	-
600/50-22.5	8	404	N	2.8	4900	19.0	-1.6	-
600/50-22.5	8	404	N	0.8	4900	15.4	-3.1	-
600/50-22.5	6	404	GT	2.8	4900	18.5	-1.2	-
600/50-22.5	6	404	GT	0.8	4900	12.1	-1.3	-

8. FELKÄLLOR.

8.1. Utrustningen.

De maximala felen vid mätningarna av rullmotståndskoefficienterna har uppskattats till cirka 10% vid körning på asfalt, och ca 2% vid körning i fält. Förstärkarens felvisning uppgick till 0,1 kN, och de maximala dragkrafterna uppgick till 1 kN och 5 kN på hårt respektive mjukt underlag. De relativt stora standardavvikelseerna som uppmätts beror på de svängningar som uppstår i fordonskombinationen, och representerar alltså variationen i dragkraften under mycket korta tidsförlopp.

Noggrannheten vid spårdjupsmätningarna är beroende av vilken utrustning som använts. De resultat som erhållits med den manuella spårdjupsmätaren bör endast ses som ungefärliga värden, men de som har erhållits med spårdjupsmätningssläden uppvisar ett maximalt fel på 5%.

Upprepningar av mätningen av rullradien ger vid handen att det maximala felet inte överstiger 2mm, och variationen mellan likadana däck är större än detta värde. Teoretiskt blir felet mycket mindre, och uppgår endast till någon promille.

Som tidigare nämnts har ej rullradien kunnat fastställas i fält, vilket har lett till osäkerhet i bestämningarna av slirningen, och därför bör dessa endast ses som jämförande värden.

8.2. Fälten.

Helt perfekta försöksfält kan aldrig erhållas, utan dessa uppvisar alltid en viss variation. Denna variation består i att fälten har en viss lutning, ej har samma packningsgrad över hela markytan och är inte lika blöta överallt.

För att undvika inverkan av fältlutningen har lika många sträckor körts i vardera riktningen på fältet. För att undvika inverkan av ojämna packning och vattenhalt har under försökens gång en strävan varit att köra så många tester som möjligt under varje dag, samt att köra så många sträckor som möjligt med varje däck (8 st per test i hela serien). Det stora antalet mätvärden inom varje test motverkar också mindre inhomogeniteter hos underlaget.

9. DISKUSSION.

9.1. Egna slutsatser och synpunkter.

En däcksutrustning blir oftast en kompromiss. Beroende på olika krav på last och varierande markförhållanden ställs olika krav på däck, och tyvärr är dessa krav i vissa fall helt motsatta vid exempelvis jämförelser mellan hårda och mjuka underlag.

9.1.1. Hårda underlag.

Exempel på faktorer som enligt de gjorda mätningarna vid körning på hårt underlag ger lågt rullmotstånd:

- stor diameter
- styva däckssidor vilket fås med lågt profilmörhållande och hög lagerklass
- möjlighet till högt lufttryck
- ej aggressivt mönster

Detta bekräftas av tidigare gjorda mätningar. (Becker, 1975).

Däcket med Garden Tractor-konstruktionen hade det lägsta uppmätta rullmotståndet. Hur stämmer då detta med ovanstående resonemang? Garden Tractor-däcket har ju en mjuk konstruktion!

En tänkbar förklaring är att den mjuka konstruktionen medger en deformation i däckssidorna med totalt sett lägre deformationsenergi, samt framför allt att däcksmönstrets krypning mot underlaget med åtföljande friktionsförluster reduceras jämfört med ett konventionellt däck till följd av däckets följsamhet.

En nackdel med stora mjuka lågprofildäck är att fordonen vid vissa kritiska hastigheter lätt kommer i självsvängning med resultatet att fordonet "gungar" fram på vägen. Denna olägenhet kan i många fall avhjälpas med en justering av lufttrycket.

9.1.2. Mjuka underlag.

Vid körning i fält på mjuka underlag ställs andra krav på hjulen än vid körning på hårt underlag. De utförda mätningarna bekräftar vikten av att uppnå en stor bäryta mot marken för erhållandet av ett lågt rullmotstånd. Som tidigare har nämnts har i engelska undersökningar betonats vikten av en hjuldimensionering sådan att en god bärighet erhålles. (McAllister, 1975, Dwyer, 1984).

Exempel på åtgärder för att uppnå en stor bäryta och därigenom lågt rullmotstånd:

- öka diametern
- öka bredden
- använd en mjukare däckskonstruktion
- sänk lufttrycket

Effekten av den sistnämnda åtgärden beror dels på vilken möjlighet till lufttryckssänkningar som däckets storlek medger, samt om däckskonstruktionen ger en god anpassning av däck mot marken.

Även mönstret har betydelse för rullmotståndet. Viktigt är att inte ha ett aggressivare mönster än nödvändigt, eftersom detta endast medverkar till en höjning av rullmotståndet.

Ju sämre markförhållandena var i testerna, desto viktigare visade det sig vara med en väldimensionerad hjulutrustning, vilket bekräftas av tidigare gjorda undersökningar.

9.1.3. Jämförelse med övriga undersökningar.

I diagram 8 och 9 har resultat uppmätta i denna undersökning för motsvarande däck markerats med x resp. o.

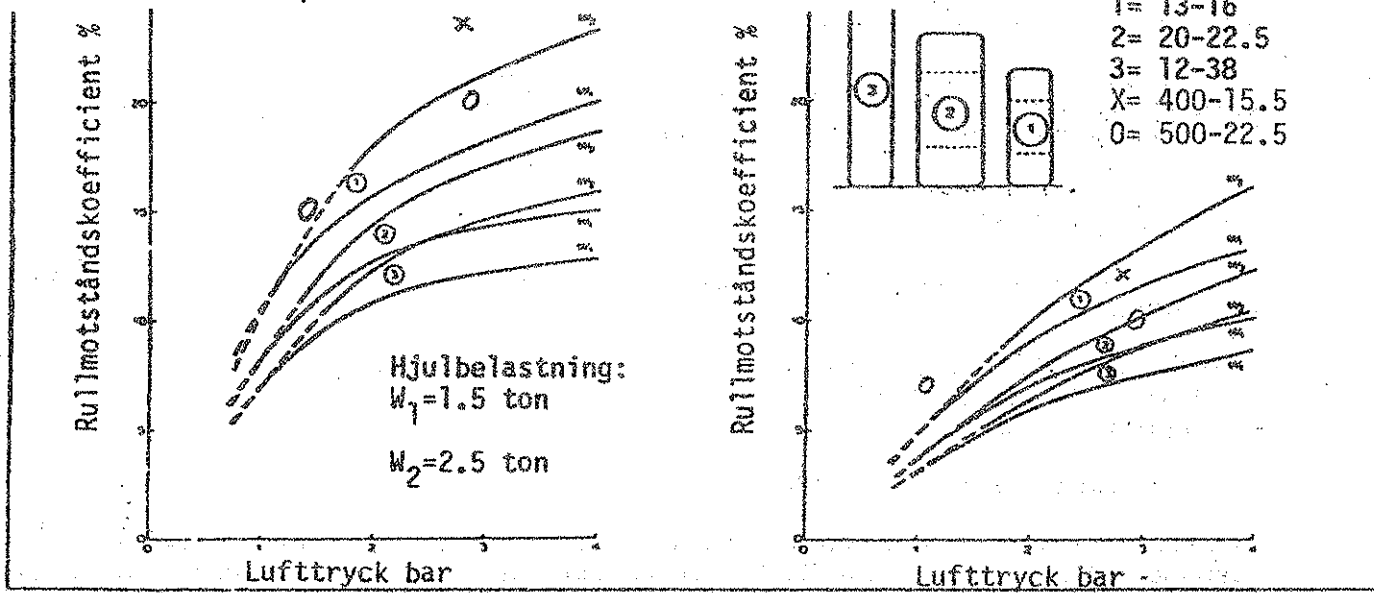


Diagram 8. Jämförelse med undersökningar gjorda av Perdok och Terpstra på plöjdad (1983).

Diagram 9. Jämförelse med undersökningar gjorda av Perdok och Terpstra på stubbåker (1983).

9.2. Betydelse i praktiken.

Ett sänkt rullmotstånd ger många fördelar i praktiken. Exempel på dessa är:

- lägre energiförbrukning till följd av lägre dragkraftsbehov
- möjlighet till högre körhastigheter
- en lättare och motorsvagare traktor kan användas
- eftersom en lägre dragkraft behöver tas ut från de drivande hjulen minskar slirningen i fält och detta leder i många fall till en höjd dragkroksverkningsgrad
- mindre fastkörningsrisk vilket innebär tidsbesparing
- möjlighet att dra större lassvikter
- möjlighet att köra under sämre markförhållanden

Dessutom fås positiva effekter av minskad spårbildning till följd av sänkt lufttryck och större bäryta vilket erhålles då ett bredare, högre eller mjukare däck väljes:

- jämnare fältyta vilket t.ex. underlättar harvning efter spridning av konstgödsel
- jämnare packning över fältet
- mindre packning vilket kan betyda 5-10 % högre skördar
- mindre skador vid körning i växande gröda

Totalt innebär detta ekonomiska fördelar i form av:

- högre skördar
- lägre energiförbrukning
- mindre tidsåtgång
- läglighetseffekter (ex. möjlighet att köra tidigare på våren)

Nackdel i detta sammanhang är den högre inköpskostnaden för större däck, men å andra sidan kan en större livslängd förväntas för dessa däck.

9.3. Uppföljning.

9.3.1. Lufttrycket.

Betydelsen av anpassningen av lufttrycket till underlaget har ett flertal gånger betonats i denna rapport. Den vanligaste metoden idag är manuell kontroll med lufttrycksmätare och pumpning med eldriven kompressor hemma på gården. Viktigt att tänka på då är:

- använd en tryckmätare med tillräckligt noggrann gradering (max 0.2 bar mellan avläsningsstrecken)
- kontrollera att tryckmätaren visar rätt
- vid köp av tryckmätare, köp kontrollerad utrustning (en manometer med max 1% felvisning med mätområde 0-6 bar kostar ca 150 kr)
- följ däckstillverkarnas lufttrycksrekommendationer
- höj lufttrycken vid vägtransport

Ett alternativ skulle vara att använda sig av en utrustning där man inifrån traktorn kan reglera lufttrycket i traktorns och efterföljande fordon's däck. Teknik för att åstadkomma detta finns redan idag, men är inte utvecklad för kommersiellt bruk.

9.3.2. Val av alternativa däck.

Vid val av däck finns ett flertal faktorer att tänka på, och det slutliga valet blir oftast en kompromiss. Nedan följer ett förslag till arbetsgång vid val av däck:

- vilken hastighet ska däckets användas vid?

VÄLJ: hastighetsgrupp (i lantbruket vanligen låghastighetsdäck som tillåter max 30 km/h)

- vilket lägsta lufttryck önskas?
- är diametern begränsad av lasthöjden?
- är diametern begränsad av utrymmesbrist?
- är en speciell och eller konstant rullradie önskvärd?
(t. ex vid markdriven utmatning)
- är den möjliga däckbredden begränsad p.g.a. vägtransport, utrymme eller körning i växande gröda?
- vilken last ska däckets bära?

VÄLJ: bredd, diameter och lagerklass

- önskas markdrivning?
- ska däckets användas mycket vid vägtransporter?
- finns speciella krav på manöverförmåga?

VÄLJ: mönster

- speciella krav på däckets som hållbarhet mot skärskador, stabilitet m.m?
- kostnad?

LEDER TILL SLUTGILTIGT VAL AV DÄCK ELLER ÅTERGÅENDE TILL NÅGON AV PUNKTERNA OVAN OCH JUSTERING AV KRAV.

10. SAMMANFATTNING.

Detta arbete som utfördes sommaren och hösten 1984 avser att utröna hur utformningen av ett lågprofildäck inverkar på rullmotståndet vid körning på olika underlag. I undersökningen ingår 14 par däck i dimensioner från 400/60-15.5 upp till 600/50-22.5. De faktorer som studerats är:

- lufttryck
- bredd
- diameter
- konstruktion
- lagerklass
- profilförhållande
- mönster

De testunderlag som användes var asfalt, torr harvad åker, blöt stubbåker och blöt plöjd åker.

Av resultaten från asfalt framgår att en ökad diameter, ökad bredd och ökad lagerklass medför ett sänkt rullmotstånd. Likaså ger en sänkning av profilförhållandet, en höjning av lufttrycket, ett val av ett mindre aggressivt mönster samt val av vissa konstruktioner ett sänkt rullmotstånd.

Vid körning i fält konstaterades att de faktorer som medverkar till att ge däckets en stor understödsyta mot marken resulterar i ett lågt rullmotstånd. Dessa faktorer är:

- större diameter
- större bredd
- mjukare konstruktion
- sänkt lagerklass
- sänkt lufttryck

Ett lägre profilförhållande ger ökat rullmotstånd, liksom ett val av aggressivt mönster.

Även slirning och spårdjup studerades vid körning i fält. Slirningsmätningarna visade att en ökad diameter, ökad bredd, val av ett aggressivare mönster samt en sänkning av lufttrycket gav lägre slirning. Dock kunde inget samband mellan rullmotstånd och slirning påvisas.

Spårdjupsmätningarna skedde manuellt i början av undersökningen, men p.g.a. högt arbetsbehov samt dålig precision övergavs denna metod, och en automatisk spårdjupsmätningssläde byggdes. Denna användes vid körning på stubbåker.

Ur resultatet från dessa mätningar kan utläsas att spårdjupet är starkt korrelerat med lufttrycket i däckets, och även med rullmotståndet.

För att uppnå ett lågt rullmotstånd i fält måste däcksutrustningen dimensioneras så att tillräckligt stor bredd och diameter uppnås medgivande lufttryckssänkningar på mjukt underlag. Då fås en god bärighet och ett lågt rullmotstånd. En väldimensionerad däcksutrustning utnyttjas inte till fullo förrän lufttrycket anpassas efter förhållandena.

Jämförelser görs med tidigare mätningar, vilka indikerar god överensstämmelse med dessa, både vad det gäller absoluta värden, och resultatet av ändringar av däckets egenskaper och storlek.

11. SUMMARY.

This investigation was performed during the summer and autumn in 1984. The purpose was to investigate factors on low profile implement tyres affecting the coefficient of rolling resistance. The following factors were studied:

- inflation pressure
- width
- diameter
- construction
- ply rating
- aspect ratio
- tread pattern

Tests were performed on concrete, harrowed fields, ploughed fields and stubble.

Important factors when reducing the CRR when driving on concrete are:

- increase in diameter and width
- higher ply rating
- decrease in aspect ratio
- less aggressive tread pattern
- choice of particular constructions (Garden Tractor or Steel Belt).

The most important factor in reducing rolling resistance on soft ground is to ensure that the tyre size is adequate to carry the vertical load at as low inflation pressure as possible. A big soft tyre with low inflation pressure giving no or little sinkage is desirable. Choice of aggressive tread patterns will lead to an increase in rolling resistance because of the energy losses produced by the high compaction under the lugs.

The relation between diameter and width must be large enough to ensure no or a minimum of bulldozing resistance.

Reducing rolling resistance will lead to a number of advantages. The low inflation pressures will cause a decrease in soil compaction, and there will be an increase in yields. Lower rolling resistance will also result in savings in fuel and time.

12. LITTERATURFÖRTECKNING.

Bekker, M.G., Semonin E.V., 1975. Motion Resistance of pneumatic tyres. J. Automotive Engineering nr.6.

Danfors, B, 1980. Däck för traktorer och redskap, JTI, meddelande 386.

Dwyer, M, 1984. Tyres for undriven wheels, NIAE.

Kramer, E, 1983. Anhängerreifen, Blätter für Landtechnik, maj.

Mc. Allister. 1983.

Möller, N, 1976. Hjulets mekanik, stencil, Lantbrukshögskolan.

Möller, N, 1969. Hjulen och marken, stencil, Lantbrukshögskolan.

Perdok, U.D, Terpstra, J, 1983. Berijdbaarheid van landbouwgrond, Landbouwmechanisatie 34.

Schuring, J, 1972. Rolling resistance of wheels in soft soil, ASAE paper 72-633.

Söhne, W, 1970. Agricultural engineering and terramechanics, Institut für Landmaschinen T.H. München.

Taborek, J.J., 1957. Mechanics of vehicles, Machine design, May 30-Dec. 26 .

Turnage, G.W., 1972. Tyre selection and performance for offroad wheeled-vehicle operations, proc 4th. int. conf. int. soc. terrain-vehicle systems, Stockholm.

Data Trelleborg TWIN LP - IMPLEMENT tyres

Tyre Size	Tread pattern	Rim size	Overall diameter (mm) + 1.5%	Section width (mm)	Max width in service (mm)	Static loaded radius (mm) + 2.0%	Rolling circumference (mm) + 2.5%	PR	30 km/h			
									LLV		HLV	
									Load (kg)	Press (bar)	Load (kg)	Press (bar)
350/70-15,5	404 478	11,00	875	355	375	384	2480	4	1245	1,1	1495	1,5
								6	1610	1,7	1930	2,3
								8	1870	2,2	2240	3,0
								10	2160	2,8	2590	3,8
								12	2380	3,3	2855	4,5
								14	2620	3,9	3145	5,5
400/60-15,5	404 478 484	13,00	875	405	425	384	2480	4	1320	1,0	1585	1,4
								6	1675	1,5	2010	2,1
								8	1980	2,0	2375	2,8
								10	2240	2,5	2690	3,4
								12	2505	3,0	3005	4,1
								14	2745	3,5	3295	4,8
								16	2970	4,0	3560	5,5

THESE TYRES ARE FOR NORMAL AGRICULTURAL USE AND NOT FOR CONTINUOUS HIGHWAY SERVICE.

LLV 1. Is the BASIC LOAD/PRESSURE data.

2. Tyre load variation is less than a factor of two between loaded and unloaded conditions.

3. Also apply to the driving wheels of SELF PROPELLED AGRICULTURAL IMPLEMENTS on high load variation applications.

HLV

1. The tyre load varies by a factor of two or more between loaded and unloaded conditions.

2. Also apply to non-driven axles of HARVESTING MACHINES when operating in the field up to a speed of 8 km/h.

Data Trelleborg TWIN LP - IMPLEMENT tyres

Tyre Size	Tread pattern	Rim size	Overall diameter (mm) ± 1.5%	Section width (mm)	Max width in service (mm)	Static loaded radius (mm) ± 2.0%	Rolling circum- ference (mm) ± 2.5%	PR	30 km/h	
									LLV	HLV
400/55-17,5	404 443 478	11,75	880	400	420	388	2503	4 8 10 12 14 16	Load (kg)	Press (bar)
									1320	1,0
									1980	2,0
									2240	2,5
									2505	3,0
									2745	3,5
									2970	4,0
									1585	1,4
									2375	2,8
									2690	3,4
									3005	4,1
									3295	4,8
									3560	5,5
400/55-22,5	404 443	11,75	1000	400	420	446	2870	6 8 10 12 14 16	Load (kg)	Press (bar)
									1985	1,5
									2355	2,0
									2675	2,5
									2975	3,0
									3255	3,5
									3520	4,0
									2355	2,0
									2800	2,7
									3210	3,4
									3580	4,1
									3925	4,8
									4225	5,5

THESE TYRES ARE FOR NORMAL AGRICULTURAL USE AND NOT FOR CONTINUOUS HIGHWAY SERVICE.

LLV 1. Is the BASIC LOAD/PRESSURE data.

2. Tyre load variation is less than a factor of two between loaded and unloaded conditions.

3. Also apply to the driving wheels of SELF PROPELLED AGRICULTURAL IMPLEMENTS on high load variation applications.

HLV 1. The tyre load varies by a factor of two or more between loaded and unloaded conditions.

2. Also apply to non-driven axles of HARVESTING MACHINES when operating in the field up to a speed of 8 km/h.

Data Trelleborg TWIN LP - IMPLEMENT tyres

Tyre Size	Tread pattern	Rim size	Overall diameter (mm) $\pm 1.5\%$	Section width (mm)	Max width in service (mm)	Static loaded radius (mm) $\pm 2.0\%$	Rolling circumference (mm) $\pm 2.5\%$	PR	30 km/h			
									LLV		HLV	
									Load (kg)	Press (bar)	Load (kg)	Press (bar)
500/60-22,5	404 421	16,00	1170	503	528	497	3233	6	2730	1,2	3275	1,7
								8	3230	1,6	3875	2,2
								10	3680	2,0	4480	2,8
								12	4080	2,4	4895	3,3
								14	4480	2,8	5375	3,9
								16	4840	3,2	5810	4,4
600/50-22,5	404	20,00	1170	600	630	493	3212	6	2890	1,0	3470	1,4
								8	3365	1,3	4040	1,8
								10	3940	1,7	4730	2,3
								12	4330	2,0	5200	2,7
								14	4700	2,3	5640	3,1
								16	5160	2,7	6190	3,7

THESE TYRES ARE FOR NORMAL AGRICULTURAL USE AND NOT FOR CONTINUOUS HIGHWAY SERVICE.

LLV 1. Is the BASIC LOAD/PRESSURE data.

2. Tyre load variation is less than a factor of two between loaded and unloaded conditions.

3. Also apply to the driving wheels of SELF PROPELLED AGRICULTURAL IMPLEMENTS on high load variation applications.

HLV

1. The tyre load varies by a factor of two or more between loaded and unloaded conditions.

2. Also apply to non-driven axles of HARVESTING MACHINES when operating in the field up to a speed of 8 km/h.

SPECIAL NOTESforTrelleborg TWIN LP - IMPLEMENT tyresData special service

APPLICATION	AXLE	MAXIMUM SPEED km/h	OVERLOAD (%) (1)	INFLATION PRESSURE (%) (2)
Fork - Lift (3)	Driving	10	+ 44	+ 40
	Steering	25	+ 20	+ 30
Dumper-Loader/Shovel	Driving	25	+ 20	+ 30
	Steering	25	0	0
Trailer (= HLV)	-	30	+ 20	+ 40
Grader	Steering	30	0	0
IMPLEMENT (= LLV)	-	30	0	0
Garden Tractor	-	25	- 30	- 20
Agricultural Tractor (4)	Driving	30	- 35	0
Industrial Tractor	Steering			
Constr. Loader/Digger				
Forestry Tractor (5)	-	10	- 30 (2)	+ 40

(1) Calculate on the LLV-load!

(2) Preliminary data.

(3) In soft, uncompacted soil.

(4) Bonus loads as for tractor tyres.

(5) Apply to HEAVY SERVICE type Scandinavian block terrain.
In light service LLV can be used.Maximum fitting pressure

Maximum fitting pressure is 2,5 bar for all tyres except tyres with the rim diameters 14,5", 15,5", 17,5", 22,5" and 26,5" which have 5,0 bar as max fitting pressure.

Trelleborg

TWIN LP IMPLEMENT

Load versus inflation pressure

